

Antal Emánuel

Az öntözés előrejelzése meteorológiai adatok alapján.

Kandidátusi értekezés

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

Budapest 1968.

T a r t a l o m j e g y z é k

1. Bevezetés	1. old.	
1.1. Előzmények	2.	"
1.2. Célkitűzés	3.	"
1.3. A kísérleti telep leírása	8.	"
1.4. Fogalmak	13.	"
2. Az öntözési tervezések meteorológiai alapjainak meghatározása	16.	"
2.1. A potenciális evapotranspiráció	17.	"
2.1.1. A potenciális evapotranspiráció mérése	25.	"
2.1.2. A potenciális evapotranspiráció számítása	32.	"
2.1.3. Új módszer a potenciális evapotranspiráció kiszámítására	39.	"
2.2. A potenciális evapotranspiráció, a csapadék és az éghajlati vízhiány idő- és térbeli változékonysága	51.	"
2.3. A különböző növényállományok átlagos öntözővízszükségletének kiszámítása	62.	"
3. Az öntözővízszükséglet és az öntözési időpont előrejelzése meteorológiai adatok alapján	67.	"
3.1. Az optimális evapotranspiráció meghatározása	69.	"
3.1.1. Az optimális evapotranspiráció mérése	72.	"
3.1.1.1. Az alkalmazott evapotranspirométer leírása és működése	74.	"
3.1.1.2. Az evapotranspirométer vízháztartási összetevőinek meghatározása	75.	"
a./ Csapadék	76.	"
b./ Öntözővíz	77.	"

c./	Vizfogyasztás	77. old.
d./	Visszafolyás	78. "
e./	A tenyészkád talajának ned- vességekészlet változása . . .	79. "
f./	Az effektív evapotranspiráció	86. "
3.1.1.3.	A mért effektív evapotranspiráció javítása	90. "
3.1.2.	Az optimális evapotranspiráció számítása	97. "
3.1.3.	A növénykonstans /vizszükségleti tényező/ meghatározása	102. "
3.2.	A tényleges evapotranspiráció meghatáro- zása	109. "
3.2.1.	A tényleges evapotranspiráció köz- vetlen és közvetett mérése	110. "
3.2.2.	A tényleges evapotranspiráció számítása	113. "
3.3.	Az öntözés előrejelzése	123. "
4.	Összefoglalás	134. "
5.	Köszönetnyilvánítás	140. "
	Irodalom	141. "

1. B e v e z e t é s.

Mint ismeretes, mezőgazdaságunkban számottevő kárt okoz az aszály. Gyakori és rendszertelen föllépésével különösen károsítja a szélsőséges éghajlatu Alföld növénytermesztését, ahol az éghajlatot rendszertelen csapadékeloszlás jellemzi. E területen még az aszályosnak egyáltalán nem mondható esztendőkből is számolnunk kell az időjárás okozta jelentős termésingadozásokra.

A szeszélyes csapadékeloszlás előnytelen hatását szárazságtűrő növényfajtákkal, nedvességmegőrző talajműveléssel, mezővédő erdősávok telepítésével, öntözéssel és más hatásos meliorációs eljárásokkal ellensúlyozzák. Az aszály elleni védekezés, a termésmennyiségek növelése és a termésbiztonság fokozása szempontjából az öntözés a leghatásosabb eljárás, melynek elsődleges célját régebben még a termés megmentésében látták. Ma már — amikor gazdaságpolitikai és üzemgazdasági körülményeink is lehetővé teszik az öntözéses gazdálkodás nagy területekre való kiterjesztését és műszaki fejlesztését — az öntözés feladata olyan mezőgazdasági vízgazdálkodás biztosítása, amely a növények vizigényét bármilyen időjárási helyzetben kielégíti úgy, hogy az egyéb tényezők optimális biztosítása mellett elérjük a maximális termésbiztonságot, a terméseredményeket általánosan és tartósan emeljük, továbbá megteremtjük a kettőstermesztés lehetőségét mindazon területeken, ahol a vegetációs periódus nagyrészé-

ben a mezőgazdasági kulturnövények rendszeresen szenvednek a vízhiánytól.

1.1. Előzmények.

Hazánkban a második világháború előtt az öntözés részben üzemgazdasági adottságaink /kisüzemi gazdálkodás/, részben gazdaságpolitikai okok miatt vontatottan fejlődött. Csúpan a szűkös termésű, aszályos években került előtérbe az öntözés kérdése, noha éghajlati viszonyaink és a rendelkezésünkre álló vízkészlet e kérdéssel való foglalkozást már korábban is indokolttá tették volna.

Az 1935-ös aszályos nyár hatására előbb Trummer Árpádnak /1935/, majd Boros Tibornak /1936/ kellett bizonygatnia a rendelkezésre álló meteorológiai megfigyelések alapján, hogy mezőgazdasági termelésünk kiegyensúlyozottságának és megfelelő terméseredmények elérésének elengedhetetlen feltétele a rendszeres öntözésen alapuló gazdálkodás. Különösen áll ez a tétel ma, amikor már megteremtettük az öntözéses gazdálkodás legfontosabb előfeltételeit: a nagyüzemi gazdálkodást, fejlett agrotechnikai eljárások alkalmazását, fokozott ütemű gépesítést, s nem utolsó sorban azt, hogy az állam magára vállalta az öntözési beruházások legköltségigényesebb részét /főcsatornák, duzzasztók stb./.

A rendszertelen fejlesztés eredményeként 1938-ban mindössze 25 ezer kh területen öntöztek rendszeresen. Nagyarányu fejlődés indult meg a háború után, s ma már több mint fél millió kh-on biztosítottak az öntözéses gazdálkodás feltételei. A költséges beruházásokat igénylő öntözéses növénytermesztés célszerű fejlesztéséhez, ugyyszintén az öntözés

gazdaságosságának és hatékonyságának fokozásához a korábban említett agro- és hidrotechnikai problémák megoldásán kívül ma már semmiképpen sem nélkülözhetők az agrometeorológiai kutatások eredményei sem.

A racionális öntözést ma még számos technikai jellegű akadály /nem kielégítő mértékű gép-, berendezés- és műtrágyaellátás, jól képzett öntözési szakemberek hiánya, munkaerőhiány stb./ akadályozza, mégis úgy véljük, hogy az öntözéses gazdálkodás tudományos megalapozását szolgáló elméleti és gyakorlati kutatások nagyonis időszerűek, sőt sürgetőek. Az öntözéses gazdálkodás meteorológiai kérdései közül a vízhiány, a vízszükséglet és az öntözővízszükséglet meghatározásának, valamint az öntözési prognózisok kidolgozásának módszertani kérdései kerültek elsőként a mezőgazdasági kutatók, öntözési szakemberek, hidrológusok és meteorológusok érdeklődésének homlokterébe.

Az említett problémák megoldásának sürgető volta ösztönzött bennünket is az értekezés témájának kiválasztására. Az MTA Meteorológiai Bizottsága által 1962. őszén jóváhagyott téma kidolgozása érdekében 1963-ban kutatóállomást létesítettünk Szarvason, az Öntözési és Rizstermesztési Kutatóintézet bikazugi gazdaságában. E kísérleti telep öt évi adatsora szolgált alapul az értekezés téziseinek kidolgozásához.

1.2. Célkitűzés.

Köztudomásu, hogy hazánkban a természetes csapadék általában nem elégíti ki a növények vizigényét. A vízhiány öntözéssel pótolható. A hatékony öntözési rend /öntözővízigény, öntözési időpont, öntözővíz adag, öntözővíz norma/

kidolgozásához nagyban hozzájárulhatnak az agro- és hidro-meteorológiai kutatások legújabb eredményei is. E téren mindenekelőtt olyan tudományos megalapozottságu módszereket kell kidolgoznunk, amelyekkel a gyakorlati szakember egyszerűen állapíthatja meg, hogy mikor öntözzön és mennyi öntözővizet használjon, figyelembe véve az időjárás tényleges alakulását, a növények faját, fajtaját, fejlődési állapotát, továbbá a talaj tulajdonságait és az üzemi adottságokat.

Az öntözővizszükséglet és az öntözési időpont meghatározásánál rendszerint a talajnedvességkészlet változását, illetve a növények fiziológiai és morfológiai jellemzőit veszik számításba. A leghatékonyabb módszer alapja azonban mindenkor a növények vizigénye, amit a fejlődési állapot és az időjárás együttesen határoz meg.

A fiziológiai és morfológiai jellemzők felhasználása a racionális öntözési rend megvalósításánál Alpatyev /1964/ szerint pontatlan beavatkozásra vezet, mivel ezek a jellemzők a gyökérrel átszőtt talajréteg kiszáradásának határeseit jelzik. A fiziológiai és morfológiai vonások alapján éppen ezért nem mindig hajtható végre idejében az öntözés. Az öntözési időpont kijelölésének bizonytalan volta mellett az öntözendő víz mennyiségére pedig egyáltalán nem ad feleletet ez az eljárás.

A talaj nedvességtartalmának változását figyelembe vevő módszer a termőréteg vízháztartásának mérésére vagy számítására vezethető vissza.

A talajnedvesség változásának mérésére alapozott eljárás pontos és megbízható módszer, nem igényel nagy szakértelmet és bonyolult mérőeszközöket, ám rendkívül munkaigényes, ezért az öntözési gyakorlatban ritkán alkalmazzák.

A talajnedvességkészlet meteorológiai adatokból történő számítási módszer előnye az, hogy a több évtizedes meteorológiai adatsor lehetővé teszi a tervezésekhez jól használható területi és időbeli átlagos öntözési rend meghatározását /vagyis az öntözési tervezések hidrometeorológiai alapadatainak kiszámítását/. Emellett a napi adatok felhasználásával operatív úton követhetjük a csapadék és az evapotranspiráció dinamikáját, vagyis a talajnedvességkészlet változását. Ismerve ezen kívül a különböző növények kritikus talajnedvességi értékét, lehetővé válik, hogy az időjárás tényleges alakulásának megfelelően határozzuk meg bármely éghajlati körzetben az öntözés időpontját és az öntözés vízszükségletét.

Hazai gyakorlatban -- az említett módszerektől eltérően -- az öntözés időpontját a növény fejlődési fázisa szerint, esetleg naptári napok alapján jelölik ki, míg az öntözővízszükségletet az öntözési irányelvekben normák formájában rögzített érték jelenti /21/1961. sz. OVF utasítás, Vizügyi Értesítő 1961./.. Így az öntözővíznormák szerinti öntözéses gazdálkodás rendje egyik évről a másikra elvileg alig változik, mivel a norma nem veszi figyelembe sem azt, hogy az adott esztendőben hogyan alakul a növényállomány vízszükséglete, ill. tényleges vizellátottsága a meteorológiai tényezők függvényében, vagyis a vízhiányt legnagyobb mértékben meghatározó időjárási rendszert másodlagos tényezőként kezeli.

Az öntözési irányelvekben és utasításokban megszabott, s az időjárás tényleges alakulásától függetlenített víznormák szerinti öntözéssel csakis az átlagos időjárásu években várható kielégítő eredmény. Az ettől eltérő periódusokban az

öntözési norma vagy kevés öntözővizet biztosít -- mint pl. az 1962-es, 1963-as aszályos években --, vagy túlöntözéshez vezethet /csapadékos tenyészidőszakokban/. Az említett években végzett öntözések alapján a szakemberek arra a meggyőződésre jutottak, hogy az 1961-ben megállapított öntözőviznormák túl alacsonyak, mivel 62-ben és 63-ban nem elégtették ki a növények vizigényét. Emiatt 1964-ben a korábban megállapított öntözőviznormákat fölemelték /Vizügyi Értesítő, 1964./. Átlagosnál nedvesebb és hűvösebb tenyészidőszakban valószínűleg ismét fölmerül annak gondolata, hogy alacsonyabb normákat kell megállapítani. Az 1965-1966-os csapadékosabb esztendőek máris megtorpantották az öntözéses gazdálkodás fejlődését, sőt még a kutatásokat is. Pedig a bőségesebb nedvességellátottságu éveket minden bizonnyal ismét szárazak fogják követni, a csapadék szekuláris és periódikus ingásai legalábbis ezt igazolják.

A téves következtetések és az ebből származó hibás öntözés elkerülése érdekében az öntözőviz normák által megszabott merev öntözési rend helyett olyan rugalmas módszerre van szükség, amely alkalmas arra, hogy az időjárás tényleges alakulásának figyelembevételével rendszeresen kövessük a termőtalaj vízbevételének és -kiadásának természetes viszonyok közötti dinamikáját. Így a növény számára a legalkalmasabb időpontban és a szükséges mennyiségben juttathatjuk a vizet az öntözendő területre.

Másrészt az öntözőviznorma /értelmezésünk szerint sokévi átlagos öntözővizszükséglet/ alapvető fogalom az öntözőrendszerek megtervezésénél, a vízkészletgazdálkodás tudományos alapjainak továbbfejlesztésénél, a rendelkezésre álló öntözővízkészlet racionális elosztásánál, nemkevéské egy-

egy mezőgazdasági üzem vizigényének reális alapokon történő megítélésénél. Az öntözőviznormán kívül azonban ismerni kell az öntözővizszükséglet 1, 5, 10, 20, 25 stb. %-os valószínűséggel bekövetkező értékeit is.

Az öntözéses gazdálkodásnak meteorológiai vonatkozású kérdései közé tartozik az öntözőcsatornák és az esőztető öntözések párolgási veszteségének meghatározása is, e kérdés-komplexummal kísérleteink során nem foglalkoztunk.

Vizsgálataink során két fontosabb témakörrel foglalkoztunk, s így értekezésünk általános célkitűzését is két pontban foglalhatjuk össze:

a./ A vizkészletgazdálkodás meteorológiai alapjainak előállításához szükséges számítási módszerek kidolgozása, különös tekintettel az öntözési tervezések hidrometeorológiai megalapozására.

b./ Az öntözéses gazdálkodás üzemirányításának /az öntözési gyakorlatnak/ a számára olyan alkalmas eljárások kidolgozása, amelyek lehetővé teszik a különböző növényállományok öntözési időpontjának és öntözővizszükségletének rendszeres előrejelzését konkrét időjárási viszonyok között /nem sokévi átlagban!/, vagyis amelyek alkalmasak a folyamatos öntözési tájékoztatók elkészítésére.

A kidolgozott modellek alapján példát mutatunk be egyrészt az öntözési tervezések hidrometeorológiai alapadatainak előállítására két eltérő éghajlati körzetben fekvő meteorológiai állomás 65 éves /1901 - 1965/ adatsorából, másrészt a burgonya öntözési időpontjának és öntözővizszükségletének folyamatos előrejelzésére.

1.3. A kísérleti telep leírása.

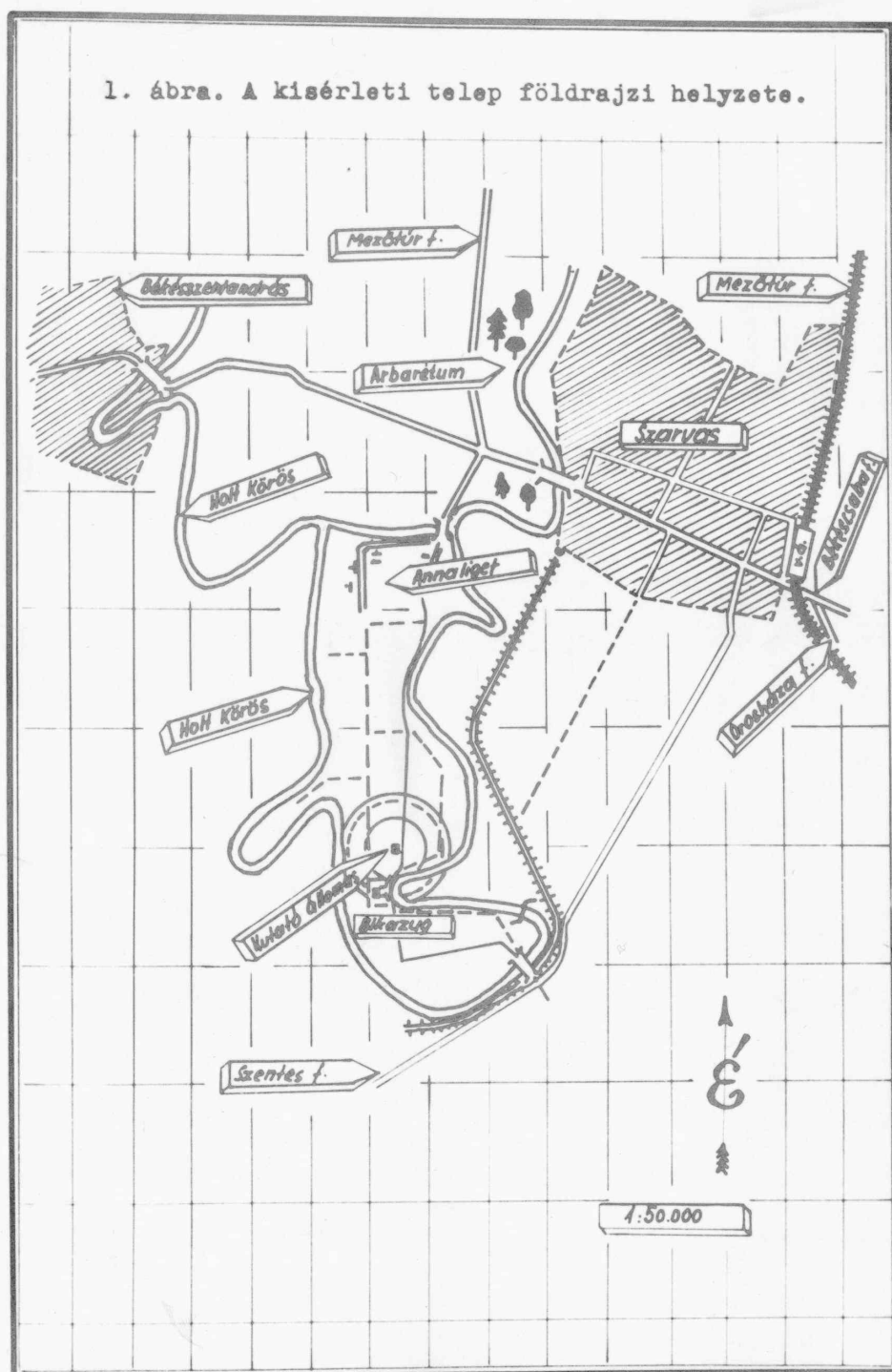
Az előbbi célkitűzések megvalósításának alapfeltétele volt egy olyan kísérleti bázis létrehozatala, amely biztosította az agrometeorológiai és növénytermesztési adatok együttes gyűjtését az öntözési szempontok szerint. A kísérletek lebonyolítására 1963. tavaszán telepítettünk kutatóállomást Szarvason, az Öntözési és Rizstermesztési Kutató Intézet /ÖRKI/ bikazugi kísérleti gazdaságának területén, amit 1967-ig fokozatosan kiépítettünk obszervatórium jellegű kísérleti bázissá. Az állomás a várostól DNy-ra fekszik, mintegy 5 km-re, s a Holt-Köröstől 500 m-re, teljesen sík, nyílt helyen /1. ábra/.

A kísérleti parcellák talaja közepes humuszcétegű szolonyecses réti talaj löszös agyagon. A talaj térfogatsúlyát és minimális vízkapacitását 800 cm³-es henger alakú mintavetővel kiemelt talaj alapján határoztuk meg. A vizsgálatot ötszörös ismétlésben végeztük, így minden 10 cm-es rétegben 4000 cm³ minta szolgált a fenti adatok meghatározására. Az 1. és 2. táblázatban a vízháztartás-számításokhoz leggyakrabban használt talajfizikai jellemzőket közöljük.

1. táblázat. A talaj fizikai jellemzői a kutatóállomáson.

A réteg mélysége cm	Térfogatsúly gr/cm ³	Fajsúly gr/cm ³	Összes P. térfogat %
0 - 10	1,20	2,60	50,2
10 - 20	1,27	2,60	43,1
20 - 30	1,30	2,60	44,3
30 - 40	1,34	2,60	45,3
40 - 50	1,41	2,60	44,7
50 - 60	1,48	2,65	44,8
60 - 70	1,55	2,65	43,6
70 - 80	1,57	2,65	42,8
80 - 90	1,58	2,67	42,7
90 - 100	1,62	2,67	41,5

1. ábra. A kísérleti telep földrajzi helyzete.



2. táblázat. A talaj hidrofizikai jellemzői a kutatóállomáson.

A réteg mélysége	hy	HV	VK _k	VK _t	VK _m	DV
cm		mm	mm	mm	mm	mm
0 - 10	4,7	18,7	33,5	34,4	32,5	13,8
10 - 20	4,7	18,7	38,1	38,8	37,1	18,4
20 - 30	4,6	18,4	40,3	40,9	38,8	20,4
30 - 40	4,6	18,4	39,9	41,6	38,2	19,8
40 - 50	4,6	18,4	38,6	41,7	38,1	19,7
50 - 60	4,7	18,7	40,5	40,8	39,1	20,4
60 - 70	4,3	17,2	38,4	38,6	36,9	19,7
70 - 80	4,1	16,6	39,3	39,5	37,9	21,3
80 - 90	4,0	16,0	39,1	39,6	37,6	21,6
90 - 100	3,8	15,2	39,2	39,6	37,7	22,5
0 - 30		55,8	111,9	114,1	108,4	52,6
0 - 50		92,6	190,4	197,4	184,7	92,1
0 - 100		176,3	386,9	395,5	373,9	197,6

A talajvíz mélysége átlagosan 170 - 180 cm, a Holt-Körös feltöltésével valamelyest változik. Az 1. és 2. táblázatban közölt adatok, a minimális vízkapacitás kivételével, a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézetének méréseiből származnak.

A talajszelvény szerkezeti, kémiai és fizikai jellemzői szerint a kísérleti telep talaja erősen kötött, enyhén lugos, a mélyebb rétegekben szolonyeces, amelyre a 8,1 - 8,7 pH, s az alsóbb rétegek magasabb Na tartalma utal. Felvehető tápanyagban jól ellátott a talaj. Viz- és hógazdálkodás szempontjából közepes minőségű. Az aránylag magas talajvíz lehetővé teszi, hogy aszályos időkben a mélyen gyökerező növények a nyári csapadékon túl jelentős vízbevitelhez jussanak. A repedezésre erősen hajlamos talaj száraz időszakban a gyökérszaggatással kedvezőtlen hatást gyakorol a növényzetre. Repedezési hajlama megnehezíti a felületi öntözést, mivel aszályos időszakban nem ritka a 40 - 60 cm mélységű

repedés sem.

A mintegy két kh-nyi, öntözőcsatornákkal körülhatárolt kísérleti terület lefolyástalan, ezért a lehulló csapadékból csakis a talajviz irányába távozhat a fölösleg, illetve onnan érkezhethet többletbevétel. A vízháztartás-vizsgálatoknál lefolyással és odafolyással tehát nem kell számolnunk.

Az állomás hazánk meleg, száraz, mérsékelten forró nyaru éghajlati körzetében fekszik, ahol a klimatológiai adatokból Kakas - Szepesiné /1963/ által közelítő számításokkal meghatározott vízmérleg deficites. Az átlagos évi területi párolgás itt 500 - 525 mm körüli, az átlagos évi éghajlati vízhiány pedig 175 mm-nyi. E két értéknek a tenyészdőszakon belüli és a növénykultúrák szerinti idő- és térbeli meghatározása még további kutatások feladatát képezi.

A Szarvas-Bikazug-i Kísérleti Gazdaság területén már több évtizede működik meteorológiai állomás, s így lehetséges a kísérleti telep kvantitatív jellemzése is, mégpedig a Magyarország Éghajlati Atlaszában /Kakas, szerk., 1960/ ¹⁹⁶⁷ térképeihez felhasznált éghajlati törzsértékek /Éghajlati Adattár, 1967./ alapján. A 3. táblázatban közölt klimatológiai havi közepek az 1901 - 1950-es periódusra vonatkoztatott értékeket jelentik. A legfontosabb éghajlati elemek törzsértékei közül csak azokat mutatjuk be, amelyek közvetlen befolyást gyakorolnak a potenciális és a tényleges evapotranspirációra, illetve ezen keresztül az egyes kultúrák vízszükségletének és öntözővízszükségletének változására.

Megjegyezzük, hogy 1963-ban, amikor a kísérletek megindultak, a klímaállomást az eredeti helyéről mintegy 800 m-rel északi irányban arrébb helyeztük, a jelenlegi kísérleti telepre. A megfigyelési sorozatban az áthelyezés nem okozott

ahomogenitást, mivel az állomás mindkét helye teljesen nyílt felállítású és a mezőgazdasági művelésű területekre reprezentatívnek tekinthető.

3. táblázat. Az éghajlati törzssértékek az 1901 - 1950-es periódusban.

$\varphi = 46^{\circ} 50' N$; $\lambda = 20^{\circ} 31' E$; $m = 83 \text{ m t.sz.f.}$

	I	II	III	IV	V	VI	
léghőmérséklet	-1,7	-0,2	5,4	11,0	16,5	19,8	
napfénytartam	62	83	140	189	260	272	
felhőzet	6,3	6,3	5,8	5,4	5,2	5,0	
csapadék	27	30	30	42	51	51	
párányomás	3,6	4,0	5,2	6,9	9,9	11,7	
telítési hiány	0,4	0,5	1,5	2,9	4,2	5,6	
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	év
léghőmérséklet	22,1	21,2	17,1	11,3	5,1	0,3	10,7
napfénytartam	303	278	209	152	75	53	2076
felhőzet	4,1	4,0	4,1	5,2	6,7	6,9	6,5
csapadék	46	46	37	43	44	35	485
párányomás	12,1	11,9	10,1	7,6	5,8	4,5	7,8
telítési hiány	7,5	7,0	4,4	2,4	0,8	0,2	3,1

A meteorológiai megfigyeléseket a tenyészidőszakban /április 1., október 31./ naponta folyamatosan, óránként végeztük. Az adatgyűjtést megfigyelések, mérések és regisztrátások útján végeztük az alábbi elemek szerint: az összes sugárzási összetevő, léghőmérséklet, talajhőmérséklet, vízhőmérséklet, légnedvesség, talajnedvesség, szélesebbesség /ez utóbbi hat elemet több szintben/, csapadék és a többi vizuálisan megfigyelhető klímaelem /felhőzet, szélirány, látástávolság, talajállapot stb./, szabadvizfelszín párolgása, csupasz talaj potenciális párolgása, potenciális evapotranspiráció és effektív evapotranspiráció /evapotranspirométerekkel/.

A fenológiai és fenometriai mérések, valamint az evapo-

transpirométeres kísérletek a következő növényfajokra terjedtek ki: kukorica, silókukorica, burgonya, cukorrépa, kender, őszi buza, őszi árpa, tavaszi árpa, zab, lucerna, vöröshere és gyep. A talajművelés és a tápanyagutánpótlás, a növényápolás és a növényvédelem mindenkor a nagyüzemi viszonyoknak megfelelő módon történt. A terméskiértékelésen kívül részletes fenológiai és fenometriai méréseket végeztünk, s ezen adatok szolgáltatták a fejlődési fázisonként változó vízszükséglet és az időjárási tényezők közötti összefüggések megállapításához szükséges anyagot.

A megkezdett kísérletek jelenleg is tovább folynak, elsősorban a mezőgazdasági vízgazdálkodás agrometeorológiai alapjainak megteremtésével kapcsolatos evapotranspirációs problémák tisztázása érdekében.

A gyűjtött adatok lehetővé teszik, hogy a különböző növényállományok sugárzás-, hő- és vízháztartásának meghatározzuk a főbb összetevőit. Az energiamérleg komponenseinek ismerete viszont biztosítja a különböző növényállományok vízgazdálkodásának behatóbb megismerését. A mezőgazdasági kultúrák vízháztartásának alapvető tényezői közül kutatásaink során elsősorban azokat tettük részletesebb vizsgálat tárgyává, amelyek megismeréséhez meteorológiai módszerek szükségesek. Méréseink és megfigyeléseink során így mindenekelőtt a tényleges, a potenciális és az effektív evapotranspiráció meghatározását helyeztük előtérbe. Ezek az elemek segítettek bennünket a különböző növényállományok vízszükségletének, öntözővízszükségletének és öntözési időpontjának meteorológiai adatokból történő kiszámításához alkalmas módszerek kidolgozása során.

1.4. Fogalmak.

Az öntözés agrometeorológiai kérdéseinek vizsgálata során lépten-nyomon találkozunk olyan fogalmakkal, amelyeket a különböző szakterületeken eltérően értelmeznek. Mint-hogy ilyen fogalmakat a továbbiakban gyakran használunk, feltétlenül szükséges az általunk történő értelmezés leírása. Definícióink nem tartanak igényt teljességre, leírásukkal célunk csupán annyi, hogy értekezésünkben a megfogalmazásból eredő félreértéseket elkerüljük.

Tényleges evapotranspiráció: a talaj és a növényzet együttes párologtatása természetes körülmények között, vagyis az adott növényállomány vízfogyasztása öntözetlen viszonyok esetén. Ha a talaj nedvességtartalma eléri vagy túllépi a szántóföldi vízkapacitás értékét, akkor megegyezik a potenciális evapotranspirációval.

Potenciális evapotranspiráció: A talaj és a növényzet együttes párologtatása korlátlan talajnedvességekészlet /korlátlan vízellátás/ esetén, amikor az evaporáció és a transpiráció egyidejűleg potenciális. Nagyságát elsősorban a meteorológiai tényezők határozzák meg, de valamelyest függ a felszín albedójától, vagyis közvetve a talaj típusától, a növény fajától és fajtájától, fejlődési állapotától, az állomány sűrűségétől és zártságától. Az öntözésnek nem célja az evapotranspirációt potenciális szinten tartani.

Optimális evapotranspiráció: A talaj és a növényzet együttes párologtatása a növényállomány számára optimális talajnedvességtartalom esetén szántóföldi viszonyok között /tehát nem tenyészdedényben, nem evapotranspirométerben és nem mini-atür, néhány m²-es parcellákon/. A definícióból következik,

hogy a transpiráció közelítőleg állandóan potenciális, ám az evaporáció nem. Ez utóbbi csakis a csapadékhullást, vagy az öntözést követő egy-két napon éri el az időjárás által megengedett lehetséges /potenciális/ értéket. A talaj legfelső rétegének kiszáradásakor az evaporáció egyre kisebb lesz a potenciális értéknél. Az optimális evapotranspiráció tulajdonképpen nem más, mint az optimálisan öntözött növényállomány vízfogyasztása.

Effektív evapotranspiráció: Az optimális vizellátású tenyész-
edényben, evapotranspirométerben, vagy kisparcellán mért e-
vapotranspiráció. Ez a fogalom voltaképpen az optimális e-
vapotranspiráció értelmének felel meg, számértéke azonban el-
tér attól, mivel a fentemlitett berendezésekkel az oázis-
hatás következtében a szántóföldi viszonyok közötti optimá-
lis evapotranspirációnak szélső esetben többszöröse is lehet
az effektív evapotranspiráció.

Területi párolgás: Valamely térségben /pl. vízgyűjtő terüle-
ten, éghajlati körzetben stb./ a területi átlagos párolgás
természetes vizellátású/öntözetlen/ esetben; a természetes
növénytakarónak, a termesztett kultúráknak, továbbá a talaj-
nak és a vízfelületeknek az együttes párologtatása. A terü-
leti párolgás tehát nem konkrét növényállományra vonatkozik.

Vizszükséglet: Az a vízmennyiség, amit a növényállomány idő-
egység /természetes vagy naptári/ alatt fogyaszt /evaporáció
és transpiráció/ optimális talajnedvesség esetén, vagyis nem
más, mint az optimális evapotranspiráció.

Vizhiány: Az optimális és a tényleges evapotranspiráció kö-
zötti különbség, valamely adott időszakban.

Éghajlati vizhiány: A potenciális evapotranspiráció és a te-

rületi párolgás különbsége, vagyis az a vízmennyiség, amit a természetes csapadék kiegészítéseként kellene a talajba juttatni, hogy mind a talaj párolgása, mind a növényzet transpirációja állandóan potenciális legyen. Az éghajlati vízhiányt gyakran definiálják a potenciális evapotranspiráció és a csapadék különbségeként.

Öntözővízszükséglet: A szokásos definíciótól eltérően e fogalmon mi azt az öntözővízmennyiséget értjük, amely az aktív talajréteg /gyökérzóna/ nedvességekészletének olyan mértékű kiegészítéséhez szükséges, hogy a növény bármilyen időjárási viszonyok között kielégíthesse vizigényét. Az öntözés során föllépő vízveszteségeket tehát nem tartalmazza!

Öntözővizigény: A veszteségekkel növelt öntözővízszükséglet. Amíg az öntözővízszükségletet a növény jellemzői és a talaj tulajdonságai, továbbá az időjárási viszonyok egyértelműen meghatározzák, addig az öntözővizigényt az öntözés módja, a terület rendezettsége, az öntözőberendezés állapota, a műszaki felkészültség, nemkevése a szakmai hozzáértés is nagymértékben befolyásolja.

Öntözővíznorma: A vízgazdálkodási és a mezőgazdasági irányító szervek által hatóságilag rögzített vízmennyiség, amely a különböző termőhelyi adottságok között az egyes növényfajok számára juttatható a rendelkezésre álló vízkészletből.

Megjegyezzük, hogy az utóbbi három fogalom nem meteorológiai, értelmezésének leírásától azonban mégsem tekinthetünk el, mivel munkánk során több ízben használjuk azokat.

2. AZ ÖNTÖZÉSI TERVEZÉSEK METEOROLÓGIAI ALAPJAINAK MEGHATÁROZÁSA.

Az öntözési tervezéseknél a meteorológiai tényezők közül az éghajlati vízhiány a legkomplexebb támpont, mivel a potenciális és a tényleges evapotranspiráción kívül tartalmazza a csapadékmennyiséget is. A hosszusorozatu meteorológiai adatsorból az átlagos éghajlati vízhiány mellett kiszámíthatók annak szélsőértékei és változékonysága, azaz meghatározható az eloszlásfüggvénye, amelynek ismerete biztonságossá és éghajlatilag megalapozottá teszi az öntözést tervező és irányító szakemberek munkáját.

Az említett adatok elsősorban az öntözési szükséglet gyakorisági értékeinek meghatározásához, az öntözés gazdaságosságának számításához, a víztározók és az öntözőcsatornák, továbbá a vízátemelő művek méreteinek megtervezéséhez, nemkülönben a mezőgazdasági üzemek évenkénti öntözési ütemtervének kidolgozásához használhatók eredményesen.

Az öntöző szakemberek ezen adatok birtokában kidolgozhatják az öntözés gép- és munkaerő elosztásának tervezetét, adott biztonsági intervallum figyelembevételével.

Ilyen számadatok birtokában állapíthatják meg a hidrológusok, hogy a rendelkezésre álló öntözővízkészlet mekkora terület gazdaságos öntözését teszi lehetővé az átlagos időjárású években, ill. a szélsőséges /aszályos, vagy csapadékos/ években. Az éghajlati vízhiány jellemzőinek ismerete tehát nélkülözhetetlen a vízkészletgazdálkodás számára.

Az éghajlati vízhiány meghatározásához mindenekelőtt a potenciális evapotranspirációt, ill. a területi párolgást és a csapadékot kell ismernünk, /Szesztay, 1964, Szepesiné, 1966/.

2.1. A potenciális evapotranspiráció.

A potenciális evapotranspiráció fogalmát Thornthwaite /1944/ vezette be. Első megfogalmazása szerint azt a vízmennyiséget jelentette, amelyet a növényzet és a talaj párologtat korlátlan vízellátás esetén. A talajnedvességekészlet növekedésével Thornthwaite /1948/ szerint az evapotranspiráció az időjárási viszonyok által megengedett határig fokozódhat, s ezt a határértéket nevezi potenciális evapotranspirációnak. Később szükségesnek tartotta /Thornthwaite, 1954/ a definíció kiegészítését bizonyos növényi és éghajlati feltételek meghatározásával, nevezetesen: a párologtató felszín albedójának standardnak kell lennie; az evapotranspirációt az advekció nem befolyásolhatja; a párolgásra és a levegő fölmelegedésére fordított hő arányának állandónak kell lennie. Ez a hármas feltétel lett később a tenyészedenyekkel, evapotranspirométerekkel és egyéb kisméretű eszközökkel mért potenciális evapotranspiráció térbeli kiterjeszthetőségének feltételévé is.

Penman /1948/ az előbbi fogalomra a potenciális transpiráció kifejezést vezette be, amely szerinte azzal a vízmennyiséggel egyenlő, amit a zöld növényzettel teljesen borított terület párologtat korlátlan talajnedvességekészlet esetén. A potenciális transpiráció vizsgálatai szerint csak az időjárási viszonyoktól függ.

E fogalommal részletesen foglalkoztak Wageningenben, a "Fizika a mezőgazdaságban" c. találkozón /Anon., 1956/. A potenciális evapotranspirációt, ill. Penman szerint a potenciális transpirációt itt úgy definiálták, mint "az aktívan fejlődő, alacsony, zöld, zárt növényzettel borított kiterjedt felszínről elpárolgó vízmennyiség korlátlan talajned-

vességű talaj esetén. Az "alacsony" megjelölés magában foglalta mind a szántóföldi, mind a kertészeti növényeket, az "aktivan fejlődő" fogalomra vonatkozólag megjegyezték, hogy az ilyen növény nem volt és nincs fejlődési zavaroknak alávetve. Hogy mit kell értenünk az "elégge kiterjedt", ill. a "korlátlan talajnedvességű" jelzőkön, semmiféle magyarázatot nem adtak.

A potenciális evapotranspiráció fizikáját illetően Penman /1956/ négy pontban foglalta össze elgondolását. Az első szerint a különböző növényállományoknak --amelyek közel azonos sugárzásvisszaverő képességgel /albedóval/ rendelkeznek -- a potenciális evapotranspirációja azonos, függetlenül a növényfajtától és a talajtipustól. Másodszor: a potenciális evapotranspirációt mindenkor az időjárás határozza meg. Harmadszor: nagysága nem lépheti túl az ugyanolyan időjárási feltételeknek kitett nyílt vízfelület párolgását. Negyedik megállapítása szerint a növény optimális fejlődésének fenntartásához állandóan maximális transpiráció biztosítása szükséges.

A potenciális evapotranspiráció értelmezésénél -- nézetünk szerint -- feltétlenül a párolgás fizikai feltételeiből kell kiindulni. A párolgás létrejöttéhez és a folyamat fenntartásához -- mint ismeretes --, négy alapvető fizikai feltétel szükséges. Ezek a következők:

- a./ legyen víz, ami elpárologhat;
- b./ legyen energia, ami a folyékony vizet gőznemű halmazállapotba juttatja;
- c./ legyen telítetlen légtér, ami a párolgó felszínről kilépő gőzmolekulákat befogadja;
- d./ legyen légmozgás, ami a párologtató felszínből kilépő

vizgőzmolekulákat elszállítja.

Ha a talajban korlátlan mennyiségben áll a növény rendelkezésére a víz, vagyis ha a b, c és d feltétel határozza meg a párolgást, akkor potenciális az evapotranspiráció.

Korlátlan vízellátás esetén a párolgást tehát három fizikai tényező irányítja: a rendelkezésre álló energia, a levegő telítettségi állapota, valamint a légmozgás /szél, turbulencia, konvekció/. Más környezeti és biológiai tényező legfeljebb módosítja az előbbi paraméterek által megszabott párolgást. Ez a megállapítás azonban csak adott felszíntípusra érvényes.

Eltérő felszínek esetében a potenciális evapotranspiráció is változik, mivel a b. feltétel adott időjárási helyzetben is másként érvényesül minden felszínen az eltérő energiaháztartás következtében. A potenciális evapotranspiráció energiaszükségletét a felszín sugárzási egyenlege, valamint a vertikális és a horizontális irányú hőszállítás fedezi. Ha a két utóbbit adott időjárási viszonyok között minden növényállomány fölött azonosnak tételezzük föl, a potenciális evapotranspirációra fordított hőmennyiség akkor is változik állományonként, minthogy a felszín sugárzási egyenlege helyről-helyre változik a különböző sugárzásvisszaverő képesség miatt. A potenciális evapotranspiráció adott időjárási viszonyok között függvénye a talaj típusának, a növény fajának és fejlődési állapotának is.

A fentiek miatt a potenciális evapotranspiráció fogalmát kettős értelemben használjuk a továbbiakban: egyrészt klimatológiai értelemben /ezt nevezhetnők területi potenciális evapotranspirációnak, vagy területi potenciális párolgásnak/, másrészt konkrét növényállományra vonatkoztatva.

A kettő megkülönböztetésére az indexben eltérő betűt alkalmazunk. A klimatológiai potenciális evapotranspirációról egyszerűen áttérhetünk bármely növényállomány potenciális evapotranspirációjára a növényt jellemző k faktor bevezetésével, azaz

$$ET_{pn} = k \cdot ET_p . \quad /1/$$

Megjegyezzük, hogy Thorntwaite /1948/ a "potenciális evapotranspiráció" /potential evapotranspiration/, ill. Penman /1948/ a "potenciális transpiráció" /potential transpiration/ fogalmát nem konkrét növényállományra vonatkoztatta, hanem klimatológiailag értelmezte, ezért az elnevezés nincs megfelelő összhangban a formuláik által definiált értékkel. A klimatológiailag lehetséges párolgás megjelölésére pontosabb Albrecht /1951/ és Haude /1954/ "potenciális párolgás" /potentielle evaporation/, ill. Budikó /1956/ "párologtató képesség" /iszparjajemoszty/ megjelölésű fogalma. Formuláik közelítőleg annak a területnek az átlagos potenciális párolgását adják, amelyekre az adott meteorológiai állomás /amely alapján a számításokat végezzük/ adatai reprezentatívek. A fenti szerzők módszerei közül egyik sem veszi figyelembe a növényállományok minőségbeli különbségeiből fakadó párolgási különbségeket, ezért csakis a klimatológiai potenciális evapotranspiráció kiszámítására alkalmasak.

Mások az ET_p fogalmát konkrét növényállományok vízszükségletével azonosították /vagyis koncepciónk szerint az optimális evapotranspirációval/, s minthogy egy-egy meteorológiai szempontból reprezentatív területen belül is számottevő különbségek találhatók az eltérő mezőgazdasági kultúr-növényállományok vízszükségletében, célszerűnek látszott az

összefüggésekbe olyan tényezők bevonása, amelyek jellemzik a különböző növényfajták evapotranspirációjában lévő különbségeket.

A kezdő lépést maga Penman /1948/ is megtette az f paraméter bevezetésével. E tényezővel a nyílt vízfelszín párolgását megszorozva kapta a rövid, zöld fűállomány potenciális evapotranspirációját. Mérései alapján az f 0,6 - 0,8 között változik az év folyamán.

Később, az öntöző szakemberek olyan megoldásra törekedtek, amelyek nemcsak a fű, hanem egyéb növényállományok vizigényének változását is megadják. Blaney és Criddle /1962/, látva a potenciális evapotranspiráció fogalmával kapcsolatos problémákat, az öntözési gyakorlat számára a "fogyasztási vízszükséglet" /consumptive water requirement/ fogalmat vezették be, amit röviden vízszükségletnek, vagy az állomány vízszükségletének neveznek. A fogyasztási vízszükséglet szerintük az a vízmennyiség, amely evapotranspiráció formájában távozik a területről olyan viszonyok között, amelyeknél a terméseredményt nem korlátozza vízhiány.

A vízszükséglet számítására alkalmas formulát Blaney és Criddle /1945/ közel negyed százada dolgozták ki, amit később, a kísérleti adatok birtokában tovább fejlesztettek /Blaney - Criddle/1950/. Számítási eljárásukat a könnyen hozzáférhető meteorológiai adatokra alapozták, de bevezették az un. "növénykonstanst" / k /, amit az optimálisan öntözött növényállományokra határoztak meg. Minthogy az öntözés nem biztosítja az állandó potenciális transpirációt, ezért a fogyasztási vízszükséglet helyett a "megfelelően öntözött növényállomány vízfogyasztása" /consumptive use of water by irrigated crops/ fogalmat vezették be, s ennek meghatá-

rozására alkalmas az általuk ajánlott formula. Blaney és Criddle /1962/ később a fogalmak definiálásánál a "consumptive use" kifejezést az evapotranspirációval azonosítja. A k meghatározásához nemcsak az öntözött állományok adatait használták fel, hanem számos liziméteres és evapotranspirométeres mérés eredményeit is. A k értékeit 29 növényfajra és fajtára határozták meg.

Az előbbihez hasonló Olivier /1961/ definíciója is, aki a potenciális evapotranspiráció helyett az "alapvizszükséglet" /basic water requirement" fogalmát vezette be. Szerinte az alapvizszükséglet az a vízmennyiség, amit egy feltételezett /átlagos/ növényállomány igényel az egész tenyészidőszakban, ha a talajnedvesség az egész vegetációs periódusban magasan a hervadáspont fölött van. Az alapvizszükséglettől megkülönbözteti a "vizszükségletet" /water requirement/, amely a konkrét növényfajra vonatkozó fogalom. Álláspontunk szerint Olivier fogalma megfelel az optimális evapotranspiráció definíciójának. Párhuzamosan bevezeti az "alapöntözővizszükséglet" /basic irrigation requirement/, az "öntözővizszükséglet" /irrigation requirement/ és a "bruttó szükséglet" /gross requirement/ fogalmakat is, amelyek koncepciónk szerint megfelelnek a területi átlagos öntözővizszükségletnek, az állomány öntözővizszükségletének, valamint a veszteségekkel megnövelt értéknek, az öntözővizigénynek.

A szovjet irodalomban Alpatyev /1954/ a párologtatóképesség /iszparjajemoszty/ helyett szintén a vizszükséglet /vodopotrebljenyje/ kifejezést javasolta elfogadásra, melynek számértékét a levegő telítési hiányából számítja olyan k faktorok bevonásával, amelyek növényfajonként változnak.

Alpatyev módszerét használja Velev és Markov /1961/,

ám a k értékeit nemcsak növényfajonként határozták meg, de fejlődési fázisonként is. Módszerük nemcsak az öntözési tervezések meteorológiai alapadatainak kiszámítására alkalmas, hanem az öntözés gyakorlati végrehajtásához is felhasználható.

Az említett módszereken kívül még számos formula ismeretes, a bemutatottakhoz képest azonban nem tartalmazzak új gondolatot a potenciális evapotranspiráció és a növényállomány vízszükséglete fogalmát illetően, ezért bemutatásuktól eltekintünk.

A potenciális evapotranspiráció fogalma körül zajló viták ellenére széles körökben hasznosítják ezt a komplex hatást magában foglaló meteorológiai tényezőt. Sikeresen alkalmazták már a vízgyűjtő területek /Penman, 1952/, különböző tengerek /Carter, 1956/, az egyes kontinensek /Carter, 1954/ és az egész Föld /Van Hylckama, 1956/ vízháztartási összetevőinek meghatározására. Az ET_p felhasználásával osztályozták már a Föld éghajlatát /Thornthwaite, 1948/, de alkalmazták jelzőszámként pl. a rét szénahozamának kiszámítására is /Smith, 1960/, sőt az erdőtűz előrejelzésének kidolgozásához is kellő támpontul szolgált. A földutak járhatóságának indexeként /Thornthwaite and Mather, 1959/ éppúgy felhasználták, mint az altalaj várható nedvességtartalmának jellemzésére /Russam and Coleman, 1961/.

A fogalmat természetesen a növényzettel borított területek vízszükségletének kiszámítására használták legelterjedtebben és legeredményesebben. Az ET_p -re alapozva már számos módszert kidolgoztak az irányított öntözés klimatológiai megalapozására, -- s érdekes módon -- elsősorban a humidus éghajlatu területeken. Angliában pl. a javasolt mód-

szert és az öntözési gyakorlat által hasznosítható eredményeket részletesen megadták a Pearl /1954/ által szerkesztett "öntözési szükséglet számítása" c. kiadványban. Hasonló eredményeket és támpontokat foglalt össze "Öntözés és éghajlat" c. könyvében Olivier /1961/, aki a vízháztartással és a vízkészlet feltárásával foglalkozó szakembereknek írta le a ránylag egyszerű és könnyen alkalmazható módszereket az eltérő éghajlati övezetekben élő növényzet vízszükségletének mennyiségi és időbeli becslésére.

A potenciális evapotranspiráció felhasználása gyakorlati célokra, valamint a módszerek ellenőrzése és fejlesztése korábban főként az olyan éghajlatu területeken történt, ahol a sok csapadék következtében a tényleges és a potenciális evapotranspiráció számszerű értéke közel áll egymáshoz. A fejlesztés azért történt e területeken, mivel a szántóföldi kísérletek szerint száraz és aszályos területeken jelentős nehézségekkel jár bármely evapotranspiráció meghatározása.

A potenciális evapotranspiráció klimatológiai számítása során fölmerülő nehézségeket az alábbiakban összegezhetjük:

- a./ A legjelentősebb nehézség az, hogy amikor az öntözés következtében ténylegesen megteremtettük a potenciális párolgás feltételeit, akkor az aszályos időszakban, vagy a száraz területeken a potenciális evapotranspirációt szabályozó meteorológiai tényezők maguk is megváltoznak. Az öntözött terület fölött tehát más meteorológiai viszonyok uralkodnak, mint pl. a száraz környezetben lévő meteorológiai állomáson. Emiatt más a kiindulási alapként használt meteorológiai adatsor.
- b./ A szántóföldi kísérletek során mutatkozik a következő

nehézség, amikor a növénykonstans /k/ meghatározása a cél. A mérésekhez alkalmazott evapotranspirométerek ugyanis jelentősen több mikroadvekciós hőt használhatnak párolgásra, mint amennyit a nagy kiterjedésű öntözött terület használhatna. Így az evapotranspirométerekkel mért adatok -- az ugynevezett "oázis-effektus" miatt -- száraz időszakokban és száraz éghajlatú területeken nagyobbak a növényállományok valódi vízszükségletét jelző értékeknél.

c./ A harmadik problémát a növény magasságának eltérése és a tenyészidőszak megváltozása okozza. Tanner és Pelton /1960/ kimutatta, hogy a felszín érdessége logaritmikus an változik a magassággal, ami maga után vonja a kicserélődés fokozódását az állomány magasságának növekedésével. Száraz környezetben az evapotranspirométer növényzete a jó vizellátás következtében mindig gyorsabban növekszik, ami fokozott evapotranspirációhoz vezet a megnövekedett kicserélődés eredményeként.

Miután röviden áttekintettük a potenciális evapotranspiráció fogalmával és a fogalom felhasználásával kapcsolatos problémákat, az ET_p mérésével és számításával foglalkozunk.

2.1.1. A potenciális evapotranspiráció mérése.

Ha a potenciális evapotranspirációt a korlátlan vizellátású, rövid, zárt, zöld füves terület vízfogyasztásaként fogadjuk el, akkor az ET_p -t éppugy mérhetjük, mint a tényleges evapotranspirációt. Kiterjedt nedves felszín és azonos növényállomány esetén közvetett mérésére alkalmas a turbulens diffúziós-, az energiaháztartás- és a vízháztartás-módszer,

mérleges liziméterrel pedig közvetlenül is mérhető. Az első két módszer a mérések pontossága és az adatfeldolgozás iránt támasztott túlzott követelmények miatt nem terjedt el. A vízháztartás-módszer viszont rövid időszakokra pontatlan adatokat szolgáltat, mivel a naponkénti talajnedvesség-változás az összvízkészlethez képest csekély. Az ET_p napi értékének elfogadható pontosságu meghatározásához a talajnedvesség tartalmát 0,1 %-os pontossággal kellene mérni, ami a jelenleg létező talajnedvességmérő műszerekkel nem érhető el. Legbiztosabb adatokat a mérleges liziméterek szolgáltatnak, ám költségigényességük miatt ez a mérőmódszer sem terjedt el.

Ujabban a Thornthwaite rendszerű evapotranspirométerrel /Thornthwaite and Mather, 1951/ mérik az ET_p -t. A műszer helyes alkalmazásának előfeltétele, hogy az evapotranspirométert legalább 200 m sugaru körben korlátlan nedvesség-ellátottságu, azonos növényállomány övezze, melynek magassága 5 - 20 cm között változik. Ettől eltérő esetekben az evapotranspirométer adatai korrekcióra szorulnak. A korrekció nagyságának elemzésével egy későbbi fejezetben foglalkozunk.

A potenciális evapotranspirációt mi 4 m²-es Thornthwaite-féle evapotranspirométerrel mértük 1965 - 1967-ben. A tenyészedény 110 m²-es, négyzet alakú füves parcella közép-pontjában került elhelyezésre, gyakorlatilag tehát nem biztosítottuk a 200 m sugaru kör kiterjedésű azonos állományt. A réti perje és angolperje keverékkel betelepített evapotranspirométert naponta öntöztük ismert mennyiségű vízzel, biztosítva mindig, hogy a 70 cm vastag talajrétegen átszivárgó vízből visszafolyás keletkezzék. Az öntözést öntözőkannával végeztük a kora reggeli órákban, amikor a fűfelszín rend-

szerint harmatos volt. Így minimálisra korlátoztuk a növény levele és szára által felfogott vízből keletkező párolgástöbbletet. A rendszeres öntözéssel a talajnedvességekészletet állandóan a szántóföldi vízkapacitás értéke fölött tartottuk.

Ugyanilyen méréseket végeztünk a csupasz talaj potenciális párolgásának meghatározására, két db $0,3 \text{ m}^2$ -es liziméterrel. Összehasonlítás céljából egy tenyészidőszakban a kukoricaállomány potenciális evapotranspirációját is mértük egy 5 m^2 -es evapotranspirométerrel. A potenciális párolgás feltételeit itt is naponkénti öntözéssel biztosítottuk.

A fűkeverék magasságát az előírásnak megfelelően gyakori kaszálással 5 - 20 cm között tartottuk, hogy a növénymagasság ne befolyásolja az ET_p nagyságát. Makkink /1962/ vizsgálatai szerint azonban még e határok között is jelentős a növénymagasság befolyása. Mérései alapján az alábbi összefüggést találta a fűmagasság és a potenciális evapotranspiráció között:

		fűmagasság			
		2 cm	5 cm	10 cm	15 cm
ET_p	homokos agyagon	1,00	1,21	1,53	1,68
ET_p	agyag, iszap talajon	1,00	1,18	1,48	1,78

A 2 cm-es fűmagassággal valószínűleg biológiai zavarok is kapcsolatosak, de ha az 5 cm-es fű ET_p -jét vesszük alapértéknek, még akkor is jelentős különbségeket találunk.

Az evapotranspirométert környező parcellát rendszeresen öntöztük, ám csekély kiterjedése miatt valószínűleg nem tudtuk kiküszöbölni az oázis-hatást. A mért adatok oázis-hatás okozta hibáját azonban nagymértékben csökkentette az 1965-ben és 1966-ban lehullott bőséges csapadék.

A fű és a kukorica potenciális evapotranspirációját, ill. a csupasz talaj potenciális párolgását a tenyészedény vízháztartási egyenletéből kaptuk a következő formában:

$$ET_p = C + \ddot{O} + \Delta K - V. \quad /2/$$

A gyakori és bőséges öntözés miatt a ΔK naponkénti változása közelítőleg zérus, ezért számításaink során ezt a vízháztartási összetevőt figyelmen kívül hagytuk. Csapadéktelen napokon a potenciális evapotranspirációt a visszafolyt vízmennyiséggel csökkentett öntözővíz szolgáltatta.

A 4. táblázatunkban bemutatjuk, hogy a különböző felszínek potenciális párolgása hogyan alakult az 1965. év tenyészidőszakában.

4. táblázat. A fű, a csupasz talaj és a vízfelszín potenciális párolgása az 1965. év vegetációs periódusában.

hónap	fű	csupasz talaj	víz
április	72	77	73
május	111	113	116
június	101	125	118
július	119	126	147
augusztus	119	110	125
szeptember	94	96	99
október	60	72	60
IV - X-ig	676	719	738

A táblázat adatai bizonyítják, hogy a különböző típusú felszínek potenciális párolgása között a mérések pontosságát felülmuló eltérések vannak. Minthogy minden potenciáli-

san párologtató felszínre azonos meteorológiai viszonyok hatottak, kétségtelenül a felszinek milyensége okozta a potenciális párolgásban tapasztalt különbségeket. A legkisebb értéket a füves evapotranspirométerrel mértük, a legnagyobbat pedig a vízfelszínen, míg a csupasz talaj lehetséges párolgása a kettő között volt. Ugyanilyen sorrendet találhatunk a visszavert sugárzás értékében is. A fű albedója ugyanis 22-24 %, a csupasz talajé /réti talaj/ 14 - 16 %, míg a vízfelszíné 6 - 8 %. Logikusan következik ebből, hogy kis területen belül, azonos advektiv hőszállítás esetén a sugárzás-elnyelés szabja meg a teljesen nedves felszinek energiaháztartásában mutatkozó különbségek nagyságát, s így a potenciális párolgásra fordítható hő mennyiségét is.

Mint említettük, Makkink /1962/ vizsgálatai szerint még az azonos albedójú felszinek potenciális párolgásában is lehet különbség a növénymagasság függvényében. A növénymagasság befolyásának vizsgálatára 1965-ben biztosítottuk a potenciális evapotranspiráció feltételeit 5 - 20 cm magasságon tartott füves evapotranspirométerben és kukoricával beültetett evapotranspirométerben. E két növényállomány potenciális evapotranspirációjának havi összegeit az 5. táblázatban közöljük. Összehasonlításként bemutatjuk a kukorica effektív evapotranspirációjának havi értékeit is.

5. táblázat. A fű és a kukorica potenciális evapotranspirációja, ill. a kukorica effektív evapotranspirációja 1965-ben.

növény	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV - IX
fű ET_p		111	101	119	119	94	544
kukorica ET_p		118	131	165	130	89	633
kukorica ET_{eff}		66	72	114	82	63	397

A potenciális evapotranspiráció mérésével kapcsolatos problémákat az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- a./ A potenciális párolgás, vagyis a klimatológiai értelemben vett ET_p mért értéke a párologtató felszín fajtájától el nem hanyagolható mértékben függ. A felszín különbözőségéből eredő eltérések felül mulják a mérés pontatlanságából származó értékeket. Fölmerülhet tehát az a kérdés, hogy milyen felszínre vonatkoztassuk a klimatológiai értelemezett ET_p -t?
- b./ Azonos növényfajta esetében a növény magasságának hatása az ET_p -re nagyobb, mint a mérés hibája /Makkink, 1962; Eimern, 1964/, emiatt állapotok meg abban, hogy a fű magasságát 5 és 20 cm között kell tartani. A magasság okozta hatás azonban még így sem hanyagolható el, emiatt jogosan merül fel a kérdés, hogy végül is milyen magasságú növényre vonatkozzék az ET_p ?
- c./ Az evapotranspirométerekkel és liziméterekkel, esetleg kisparcellákon mért ET_p nagyságát "száraz viszonyok" között /vagyis azon esetekben, amikor a környezet talajának nedvességtartalma kisebb, mint a mérőeszközben lévőé/ jelentősen befolyásolja a környezet és a mérőedény nedvességellátottságában fennálló különbség. Minél kisebb száraz környezetben a nedvesen tartott felszín, adott meteorológiai viszonyok között annál több a mérőeszközzel mért potenciális párolgás /Green, 1959/. Tehát az a kérdés is fölvetődik, hogy milyen kiterjedésű nedves környezet biztosítandó a mérőeszköz körül, mekkora nedves terület képes az oázis-hatás eredményezte párolgástöbblet nagyságát a mérés hibáján belül tartani?
- d./ Nem annyira az ET_p mérésével, mint inkább a mért érték

fölhasználásával kapcsolatos az utolsó kérdés: a klimatológiai értelmű potenciális evapotranspiráció használható-e közvetlenül a gyakorlatban?

Az első három kérdés szerint a potenciális evapotranspiráció csakis akkor mérhető egyértelműen, ha egységes műszerrel, előre meghatározott feltételek mellett /jól definiált felszín, meghatározott növényfajta, állandó növénymagasság, meghatározott kiterjedésű nedves környezet/ végezzük az adatgyűjtést. Amíg ez nem biztosított, addig a mért klimatológiai ET_p bizonyos értelemben konvenció kérdésének tekinthető.

A negyedik kérdést illetőleg elmondhatjuk, hogy a mért klimatológiai potenciális evapotranspiráció nem használható közvetlenül az öntözési gyakorlatban, mivel az öntözésnek nem célja az egész tenyészidőszakban maximális szinten tartani a növényállomány vízfogyasztását. Éppen ezért az ET_p csak kiindulási alap lehet a különböző növényállományok vizigényének meghatározásánál. Erre a célra kiválóan alkalmas, mivel olyan komplex paraméternek tekinthető, amely hűben tükrözi az időjárás hatását a növények vizigényének változására.

Az ET_p mérése -- konvencionális jellege miatt -- tehát egyrészt számos nehézségbe ütközik, másrészt a hálózatszerű adatgyűjtés költséges, ezért általánosan elfogadott a meteorológiai adatokból történő számítása. A következőkben vázlatosan áttekintjük az ET_p számítására kidolgozott főbb módszereket, megemlítve azok előnyeit és hátrányait, továbbá alkalmazási területeinek lehetőségeit.

2.1.2. A potenciális evapotranspiráció számítása.

A mezőgazdasági vízgazdálkodás tervezői előtt általában ismeretesek a potenciális evapotranspiráció becslésének meteorológiai módszerei, a vízszükséglet számításához használt eltérő fogalmak azonban zavarokat keltettek a formulák helyes alkalmazásában. Ezért --a korábban használt fogalmakkal élve-- bemutatjuk a különböző számítási módszereket az általunk definiált fogalmak szerint értékelve.

Az ET_p kiszámításához sok módszer veszi alapul a vízfelszín mért vagy számított párolgását, a következő általános összefüggéssel:

$$ET_p = c P_v, \quad /3/$$

ahol az arányossági tényező függ a párolgásmérőkád méreteitől, elhelyezésének módjától és az éghajlati viszonyoktól. Számszerű értékét a füves evapotranspirométerrel mért ET_p -nek és a vízfelszín párolgásának /amit rendszerint a párolgásmérő káddal mért adatokkal helyettesítenek/ hányadosa szolgáltatja. A c értékét természetesen más éghajlati zónákra is érvényesnek tekintik, a vonatkozási terület nagysága azonban vitatott kérdés.

Ha nincs mért adat a vízfelszín párolgásáról, akkor azt előbb elméleti, vagy tapasztalati összefüggésekkel kiszámítják. Legelterjedtebb ezek közül Penman /1948/ un. kombinált módszere, amelynek felhasználásával a potenciális evapotranspirációt ugyancsak arányossági tényező bevonásával adja a következő összefüggés:

$$ET_p = c \frac{\Delta R + \gamma P_v}{\Delta + \gamma}. \quad /4/$$

A c -t standard gyepra -- 5 - 15 cm magas, tömör, zöld állomány -- közli, a következő értékeket adva: november - február 0,6; március - április és szeptember - október 0,7; május - augusztus 0,8; s az egész évre átlagosan 0,75.

Penman módszere nem veszi figyelembe az eltérő mezőgazdasági növénykultúrák biológiai reagálását a vizellátásra, ezért a különböző növényállományok vízszükségletének meghatározására nem alkalmas. Rendszerint a klimatológiai ET_p számítására használják. Angliában a Földművelési és Halászati Minisztérium Penman módszerét elfogadta az öntözővízszükséglet meghatározásához /The Calculation of Irrigation Need, 1954/.

Rohwer /Sine, et Calambert, 1958/ szintén a vízfelszín párolgását veszi alapul az ET_p kiszámításához:

$$ET_p = c / 1,465 + 0,000732 p / 0,44 + 0,0733 v / E - e / . \quad /5/$$

A telítési gőznyomás közelítő értékét -- a vízfelszín hőmérsékletéhez tartozó érték helyett -- a levegő hőmérsékletéből számítja. A potenciális evapotranspirációt a c együtthatóval történő szorzással kapja. Az együttható értéke áprilisban 1,0, májusban 1,19, júniusban 1,07, júliusban 0,84, augusztusban 0,81, szeptemberben pedig 0,90. A módszer csak általános vízgazdálkodási tervezésekhez nyújthat támpontot, mivel a klimatológiai ET_p kiszámítására alkalmas az egyenlet.

Az ET_p kiszámításához legtöbb szerző a léghőmérsékletet vonja be az összefüggésbe, nem is annyira a kapcsolat szorossága miatt, hanem azért, mert ez a meteorológiai elem /adat/ áll legrégebbről és legtöbb helyről rendelkezésre.

A léghőmérsékletre alapozott módszerek közül leginkább

Thornthwaite /1948, Thornthwaite and Mather, 1955/ eljárása terjedt el. Az USA középső és keleti területein végzett evapotranspirométeres adatok alapján dolgozta ki empirikus összefüggését, miszerint az

$$ET_p = 1,6 \cdot \frac{t}{I} \cdot 10^a \quad /6/$$

A formula megoldása nehézkes, ezért a Thornthwaite és Mather által később kidolgozott /1957/ nomogramok és segédtablázatok nélkülözhetetlenek. Thornthwaite nem alkalmaz olyan faktorokat, amelyek a növényfajok fiziológiai hatását figyelembe vennék, következésképpen ez a módszer sem alkalmazható a különböző növényállományok vízszükségletének meghatározására. Az ET_p és az éghajlati vízhiány 10, 20, 50 stb. %-os gyakorisági értékeinek kiszámításánál azonban szinte nélkülözhetetlen módszer, mivel az egyenletben lévő meteorológiai adat /léghőmérséklet/ sok helyre és hosszú évtizedekre visszamenőleg rendelkezésünkre áll. A becslések pontosságának növelésére az egyenlet állandói átszámíthatók éghajlati viszonyainkra is.

Hasonló elgondoláson alapul Lowry - Johnson /1942/ módszere, amely a léghőmérséklet maximumából számított "effektív hő" /a 0 C° feletti hőmérsékleti maximumok összege/ és a potenciális evapotranspiráció lineáris összefüggésén alapszik:

$$ET_p = 56,39 + 0,147 \sum t_{max} \quad /7/$$

Az egyenletet eredetileg csak az évi összeg becslésére szánták a szerzők, Criddle ^{/1958/} azonban a havi ET_p értékek kiszámítására alkalmas formára alakította át, s a megváltoztatott összefüggést a következő alakban közli:

$$ET_{Phó} = \frac{\sum t_{\max} \text{ hó}}{\sum t_{\max} \text{ év}} ET_p \text{ év}, \quad /8/$$

ahol $\sum t_{\max} \text{ hó}$ az egyes hónapok hőmérsékleti maximumainak összege. Az egyenlet nem tartalmaz növénykonstansokat, ezért csak a potenciális evapotranspiráció kiszámítására alkalmas. A növényállományok vízszükségletének számítására való alkalmazás esetén növénykonstansok bevonása szükséges.

E módszerek között emlithetjük Ivanov /1959/ formuláját is, amely a léghőmérsékleten kívül a relatív nedvességet is tartalmazza a következő összefüggésben:

$$ET_p = 0,0018 /25 + t/2 /100 - r/, \quad /9/$$

ahol ET_p Ivanov szerint a levegő kiszáritóképessége /párolgató képessége/. Erre utal a levegő telítési hiányát jellemző $/100 - r/$ szorzótényező is. A módszer ellenőrzése a 20 m²-es párolgásmérő medencék adatai alapján történt, ezért a formulával kapott adatok koncepciónk szerint inkább a vízfelszín párolgását tükrözik. Ennek ellenére jó kiindulási adatokat szolgáltat az optimális evapotranspiráció meghatározásához /növénykonstansok bevonásával/, mivel fizikailag egyértelműen definiálható felszínre számítja a "párolgató képességet".

Elterjedten alkalmazzák Turc /1961/ módszerét is, amely a párolgásra fordítható hőenergiát tekinti döntő tényezőnek a lehetséges evapotranspiráció felső hataraként, bár az 50 % alatti relatív nedvességek esetén korrekciós tényezőt is bevon az egyenletbe. Turc az 50 % feletti relatív nedvességű hónapokra és helyekre a következő összefüggést ajánlja:

$$ET_p = 0,40 \frac{t}{t+15} /G + 506, \quad /10/$$

míg ha a relatív nedvesség havi közepe nem éri el az 50 %-ot, akkor az alábbi változatot javasolja:

$$ET_p = 0,40 \frac{t}{t+15} /G + 50 // 1 + \frac{50-r}{70} \cdot \quad /11/$$

A formulákkal az öntözési tervezésekhez használt potenciális evapotranspirációt kapjuk. Megjegyezzük, hogy Turc kidolgozott olyan összefüggést is, amellyel közvetlenül a növényállományok vízszükséglete számítható.

Már Dalton megállapította, hogy a potenciális párolgás arányos a levegő vízgőzfelvevő képességével, vagyis a telítési hiánnyal. Ez az összefüggés általánosan a következőképpen írható:

$$ET_p = c / e_n - e_1 /, \quad /12/$$

ahol e_n a növény transpiráló felületéhez tartozó telítési gőznyomás, e_1 pedig a levegő tényleges párányomása a növényállományban, míg c az éghajlati viszonyoktól függő tényező. Az összefüggés alapján számos empirikus formulát dolgoztak ki a potenciális evapotranspiráció számítására. Az egyenlet megoldásának legnagyobb nehézsége az e_n mérése, amit rendszerint a hőmérőházban mért hőmérséklethez tartozó telítési gőznyomással helyettesítenek.

A transpiráló felület "páraéhségét" Albrecht /1951/ a levegő telítési hiányának napi középértékével helyettesíti /hőmérőházban mért adatok!/, a c -t pedig az átlagos szélsébségből számítja:

$$ET_p = c / E - e / \text{átl.},$$

/13/

s ET_p -re a "potenciális párolgás" fogalmat használja. A foemulával számított adat --a szerző szerint -- füvel borított területre vonatkozik, de nem tükrözi a különböző mezőgazdasági növénykultúrák vízszükségletét. Az egyenletben lévő c konstans átszámítása után a módszer alkalmas lehet éghajlati viszonyaink között is a potenciális evapotranspiráció átlagos és gyakorisági értékeinek kiszámítására, amelyek nélkülözhetetlenek a mezőgazdasági vízgazdálkodás tervezési munkálatainál.

A potenciális evapotranspiráció tulnyomórészt nappali jelenség, ezért kézzelfogható Haude /1952/ elgondolása, aki a telítési hiány napi közepei helyett a transpirációt nagyobb mértékben befolyásoló 14 órai értéket vette alapul. Egyenletét

$$ET_p = c / E - e / 14 \text{ ó}$$

/14/

formában javasolta a "potenciális párolgás" havi értékeinek becslésére. Módszerét elterjedten alkalmazzák, mivel a telítési hiány 14 órai értéke a napi közepekkel szemben előnyösebbnek bizonyult, s mivel a számítások elvégzése nagyon egyszerű. A tenyészidőszak folyamán a telítési hiányt Haude változó tényezővel szorozza. A korábban megállapított /Haude, 1952/ együtthatókat részletes liziméteres mérések alapján módosította /Haude, 1955/ és a vegetációs periódus különböző hónapjaira, ill. a téli félévre a következő értékeket adta: április - május 0,39, június 0,37, július 0,35, augusztus 0,33, szeptember 0,31 és a téli félévben /októ-

ber - március/ 0,28. A formulával kapott adatok igen jól hasznosíthatók az öntözési tervezéseknél.

A klimatológiai potenciális evapotranspiráció számítására a bemutatottakon kívül számos módszert kidolgoztak, amelyek szintén a levegő hőmérsékletét, telítési hiányát, a szélsebességet, a sugárzást, vagy napfénytartamot, ill. ezen elemek kombinációit veszik alapul. A növény biológiai sajátosságait jellemző tényezőket nem tartalmazó formulák azonban csakis az "éghajlati vízszükséglet" /potenciális párolgás, potenciális transpiráció, potenciális evapotranspiráció, területi potenciális párolgás, lehetséges párolgás, párologtató képesség, maximális vízfogyasztás, maximális párolgás/ kiszámítására alkalmasak, s ezen adatok a nagyobb területek / > 100 km²/ mezőgazdasági vízgazdálkodásának /öntözőcsatornák méretezése, a rendelkezésre álló vízkészlet üzemenkénti szétosztása stb./ tervezési munkálataihoz használhatók eredményesen.

Konkrét növényállomány vízszükségletének /"kedvező vízfogyasztásának", "optimális vízfogyasztásának", "optimális evapotranspirációjának", "kielégítően öntözött növényállomány evapotranspirációjának"/ meghatározásához -- akár sokévi átlagra, akár adott esztendőre -- nem nélkülözhetők a növénynek, a talajnak és az agrotechnikának a vízfogyasztásra gyakorolt hatását jellemző paraméterek, az un. növénykonstansok figyelembevétele.

Az ET_p -re kidolgozott empirikus formulák elsősorban ott érvényesek, ahol az egyenletben lévő konstansokat megállapították. A módszerek levezetésénél alkalmazott durva egyszerűsítések következtében nem várhatjuk, hogy bármely éghajlati viszonyok között, minden igényt kielégítsenek. A

kidolgozás helyétől eltérő körülmények között a kapott adatok csak nagyvonalu tájékozódásra alkalmasak.

Az empirikus képletek kidolgozásánál nem mindig ügyelnek a fizikai megalapozottságra sem, emiatt a vizsgálatot illetőleg néha félrevezető következtetésre jutnak.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a potenciális evapotranspiráció fogalmának alkalmazása-az öntözési tervezéseknél éppugy, mint az egyéb hidrológiai kutatásoknál-akkor vezethet kielégítő eredményre, ha ismerjük a meteorológiai, a növényfiziológiai és a talajtani hatótényezők szerepét az evapotranspiráció alakulására, s azt számításba is vesszük. A módszerek kidolgozásánál azonban megalkuvásra kényszerít a rendelkezésre álló információs anyag minősége és mennyisége. Ezek figyelembevételével kell -- az adott körülmények között -- a kitűzött feladat megoldásának legcélravezetőbb és legeredményesebb módját megkeresnünk.

2.1.3. Új módszer a potenciális evapotranspiráció kiszámítására.

A potenciális evapotranspirációval kapcsolatban elmondott problémák szükségessé, a szarvasi kutatóállomáson 1963 - 1967. között gyűjtött adatok pedig lehetővé tették olyan összefüggés kidolgozását, amely elfogadhatóbb adatokat szolgáltat, mint a más éghajlati viszonyok között kidolgozott formulák, amellettt adatigénye könnyen kielégíthető.

A módszer levezetésénél mindenek előtt az a kérdés merült föl, hogy mely meteorológiai elemeket szükséges, ill. érdemes a formulába bevonni. E kérdés tisztázására részletes matematikai-statisztikai vizsgálatot végeztünk a po-

tenciális evapotranspiráció és a meteorológiai elemek között feltételezett kapcsolatok feltárására. Az összefüggést a mért evapotranspiráció napi értékei és a főbb meteorológiai elemek napi közepei között kerestük.

A számított korrelációs együtthatókat 6. táblázatunk tartalmazza, csillaggal jelölve a termikus, ill. a higrikus tényezők csoportjából legszorosabb összefüggésre utaló adatokat.

6. táblázat. Az evapotranspiráció és a meteorológiai elemek közötti korrelációs kapcsolat együtthatója $/r/$, valamint a korrelációs együtthatók valószínűségi hibája $/d/$, Szarvas, 1963 -1964.

meteorológiai elem	silókukorica		cukorrépa		kender		burgonya	
	r	$\pm d$	r	$\pm d$	r	$\pm d$	r	$\pm d$
a./	0,92 ⁺	0,018	0,79 ⁺	0,061	0,95 ⁺	0,016	0,83	0,037
b./	0,89	0,025	0,74	0,072	0,92	0,024	0,88 ⁺	0,030
A./ c./	0,85	0,033	0,60	0,102	0,85	0,044	0,79	0,050
d./	0,54	0,085	0,19	0,154	0,46	0,126	0,47	0,102
e./	0,62	0,074	0,43	0,132	0,49	0,121	0,55	0,092
f./	0,91 ⁺	0,021	0,80 ⁺	0,058	0,87 ⁺	0,038	0,84 ⁺	0,040
g./	0,88	0,028	0,79	0,061	0,84	0,046	0,76	0,055
B./ h./	0,73	0,056	0,63	0,096	0,65	0,093	0,37	0,114
i./	0,51	0,088	0,48	0,123	0,41	0,133	0,26	0,126
j./	0,83	0,037	0,078	0,71	0,84	0,046	0,58	0,085
C./ k./	-0,04	0,117	0,30	0,146	0,02	0,159	0,22	0,125

Jelmagyarázat:

- A./ termikus tényezők csoportja
- B./ higrikus tényezők csoportja
- C./ légáramlási tényezők csoportja

- a./ léghőmérséklet napi közepe a hőmérőházban
- b./ léghőmérséklet napi maximuma a hőmérőházban
- c./ talajhőmérséklet napi közepe 2 cm mélységben
- d./ globálsugárzás napi összege
- e./ napfénytartam napi összege

- f./ telítési hiány napi közepe a hőmérőházban
- g./ telítési hiány értéke 14 órakor a hőmérőházban
- h./ relatív nedvesség napi közepe a hőmérőházban
- i./ relatív nedvesség értéke 14 órakor a hőmérőházban
- j./ vízfelszín párolgásának napi összege "A" típusú kádból
- k./ szélesebbességi napi közepe 2 m magasságban

A számításokat 6 növényfajta végeztük el 1963 - 1964. nyári hónapjainak /június - augusztus/ egy-egy rövidebb szakaszára. Minden növényfajta kiválasztottuk a legjellegzetesebb periódus 3 - 4 hetét, mégpedig a virágzás előtti és utáni 10 - 15 napos időszakot. A korreláció számításához így minden növényfajta minimálisan 22, maximálisan 30 értékpárt használtunk fel. A vizsgálatok eredményeit silókukoricára, cukorrépára, kenderre és burgonyára mutatjuk be /6. táblázat/. Hasonló adatokat kaptunk a kukoricára és a lucernára is.

A kapcsolat realitásának eldöntéséhez a korrelációs együtthatókon kívül kiszámítottuk annak valószínű hibáját is. A kapcsolatot ott tekinthetjük reálisnak, ahol az r értéke nagyobb, mint a valószínű hiba /d/ hatszorosa.

A korrelációs együtthatót az ismert

$$r = \frac{\sum \Delta x \cdot \sum \Delta y}{\sqrt{\sum \Delta x^2 \cdot \sum \Delta y^2}} \quad /15/$$

egyenlettel számítottuk, az r valószínű hibáját pedig a

$$d = \frac{0,674}{\sqrt{n}} \sqrt{1 - r^2} \quad /16/$$

formulával számítottuk, ahol az esetek száma /n/ 22 és 30 között változott.

A termikus tényezők csoportjából a silókukorica, a cukorrépa és a kender evapotranspirációja -- az adott fejlődési fázisban -- a levegő középhőmérsékletével, míg a burgonyáé

a hőmérsékleti maximummal van legszorosabb kapcsolatban. A higrikus tényezők közül a levegő telítési hiányának napi közepe jelzi a legszorosabb kapcsolatot mind a négy növényfajnál a potenciális evapotranspirációval. Természetesen ez nem jelenti azt, hogy más fejlődési szakaszban is ugyanilyen az összefüggés. Egyes növényfajták különböző fejlődési fázisaiban az adott időjárási viszonyok között igen szoros lehet a kapcsolat a sugárzással, a relatív nedvességgel, a napfénytartammal és egyéb meteorológiai elemmel is. A táblázat adatai szerint a léghőmérséklet és a telítési hiány napi közepeinek figyelembevételével kielégítő becslést kaphatunk a potenciális evapotranspirációra.

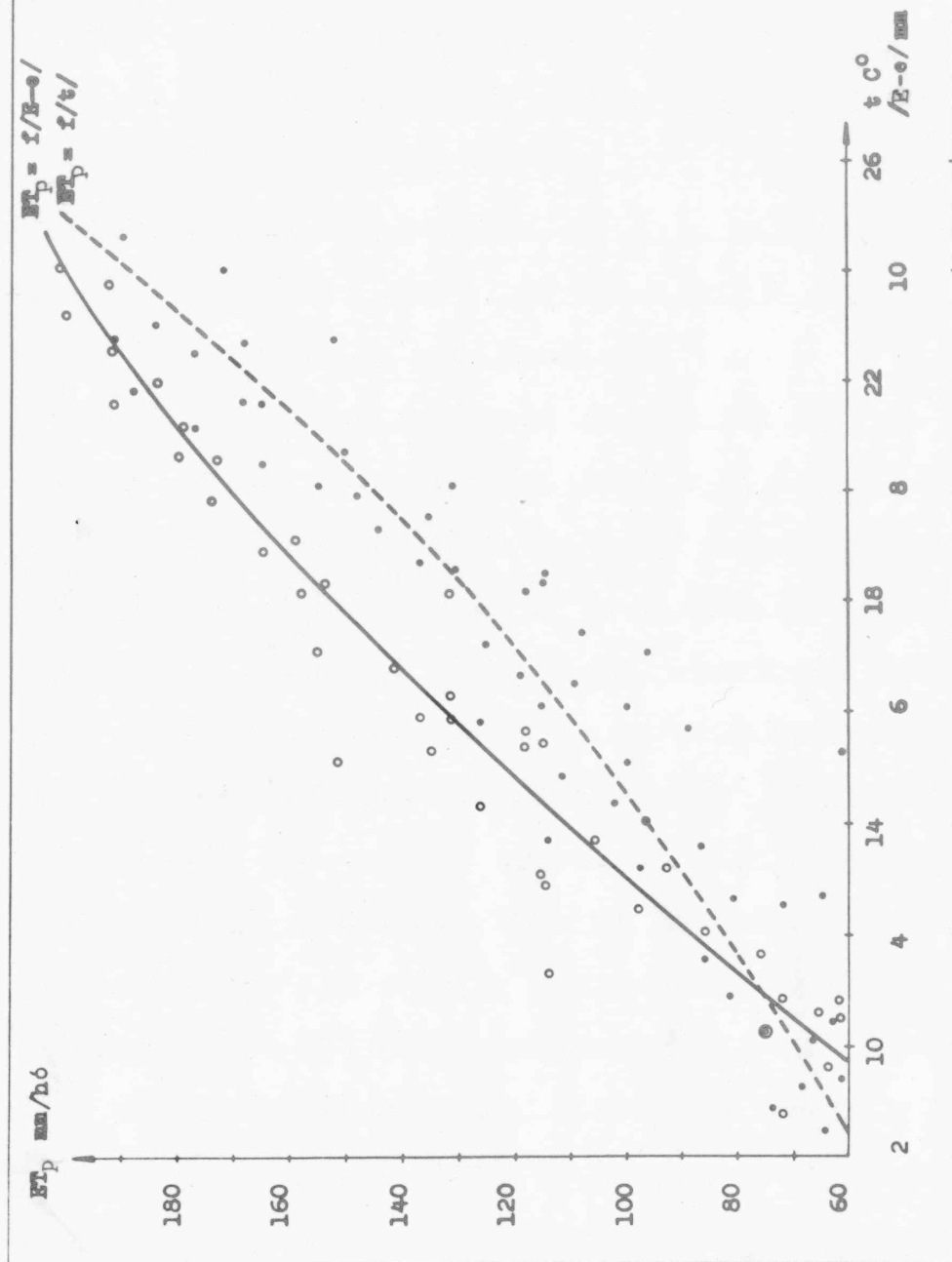
Miután a korrelációs számítás segítségével megállapítottuk, hogy az ET_p klimatológiai adatokból történő számításához a léghőmérséklet és a telítési hiány napi vagy havi közepeit kellő biztonsággal használhatjuk, tisztáznunk kell, hogy az említett meteorológiai elemeket milyen függvény-alakban vegyük számításba. Ennek eldöntésére az evapotranspirométerekkel mért adatokat felrajzoltuk egyrészt a léghőmérsékletnek, másrészt a levegő telítési hiányának függvényében /2. ábra/. A görbék olyan x^a ~~elxx~~ típusu függvényekkel közelíthetők meg, amelynek kitevője az $/E - e/$ görbe esetében egynél kisebb, míg a t görbénél egynél nagyobb. Minthogy az ET_p egyenesen arányos mind a telítési hiánnyal, mind a hőmérséklettel, felírható az alábbi általános összefüggés:

$$ET_p = a \cdot f // E - e / ^b, \alpha t^c /.$$

/17/

A t együtthatója úgy választandó meg, hogy $/E - e/ > 0$ esetben az egyenlet értéke nulla fokos léghőmérsékletnél sem legyen nulla. Fizikailag ugyanis nulla fokos léghőmérséklet esetén

2. ábra. Összefüggés a potenciális evapotranspiráció és a léghőmérséklet, ill. a telítési hiány között.



a párolgás még nem szűnik meg, ha a levegő nincs telítve. Ha a párologtató felszín fölötti légtér telítetlen, akkor a párolgás elméletileg csak -273°C -nál szűnik meg. A léghőmérsékletet tehát ennek megfelelően indokolt $/1 + \alpha t/$ alakban bevinni az egyenletbe, ahol $\alpha = 1/273$. A /17/-es összefüggést így a következőképpen írhatjuk:

$$ET_p = a \cdot /E - e/b/1 + \alpha t/c. \quad /18/$$

Az egyenlet három ismeretlent $/a, b, c/$ tartalmaz. Ha a /18/-as formula mindkét oldalát logaritmizáljuk, akkor egy háromismeretlenes lineáris egyenlethez jutunk. Az a , b , c meghatározásához -- a többváltozós regressziószámítás során -- a mátrix eljárás szimplex módszerét alkalmaztuk /Theiss, 1958/.

A számításokhoz a meteorológiai elemek valódi napi közepeit használtuk, míg az ET_p napi adatait a korábban említett három különböző felszintípus /standard fűfelszín, csupasz talajfelszín, vízfelszín/ mért potenciális párolgásának matematikai középértékeként vettük. /Megjegyezzük, hogy a standard fű potenciális evapotranspirációját Thornthwaite-féle evapotranspirométerrel mértük naponkénti öntözés után, a csupasz talaj potenciális evaporációját 3000 cm^2 -es felszínű liziméterrel, ugyancsak naponkénti öntözést alkalmazva, míg a vízfelszín párolgásának adatait a szabvány "A" típusú párolgásmérőkád biztosította./ A klimatológiai potenciális evapotranspirációt tehát fizikai fogalomként tekintjük, s számértékét azzal a vízmilliméterre átszámított energiamennyiséggel vesszük egyenlőnek, amelyet az adott időjárási vagy éghajlati viszonyok között a kiterjedt /több km^2 / természetes felszínen a párolgás folyamata maximálisan fölhasználhat.

A konstansok meghatározásához az 1965 - 1966-os tenyészidőszak /IV - X. hónap/ naponkénti $/E-e/$, t , ET_p adataiból 21 - 21 dekádátlagot készítettünk. A regressziós analízis elvégzéséhez tehát 42 adatpár állt rendelkezésünkre. Az exponenciális összefüggések együtthatóinak kiszámításánál szokásos logaritmikus transzformációt követően a számítások eredményeként az alábbi értékeket kaptuk:

$$\begin{aligned} a &= 1,0 \\ b &= 0,7 \\ c &= 4,8 \end{aligned}$$

A dimenzióanalízis szerint $/a/ = /mm \cdot hgmm^{-1} \cdot fok^{-1} \cdot nap^{-1}/$, míg a b és c hatványkitevők dimenzió nélküli számok. Az állandók ismeretében 1965 - 1967-re kiszámítottuk az ET_p havonkénti értékeit, majd összehasonlítottuk a mért adatokkal. A három év tenyészidőszakának 21 hónapjára az ET_p havi összegeit kielégítő pontossággal kaptuk meg. A számított és a mért értékek eltérésének szórása $S_y = \pm 8 \text{ mm}$, azaz $\pm 6 \%$. Ez a pontosság minden bizonnyal kielégíti a tervezések által támasztott követelményeket.

Hátra van még a formula fizikai és matematikai interpretálása. Mint látható, az egyenlet kielégíti a párolgás fizikai feltételeit. Az összefüggés jobb oldala ugyanis két esetben lehet nulla:

$$\begin{aligned} \text{ha } /E - e/ &= 0, \text{ és} \\ \text{ha } t &= -273 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Valóban, a párolgás egyrészt akkor szünetel teljesen, ha a légtér -- amelybe a párolgó víz molekulái belépnek -- telítve van, azaz a telítési hiány nulla. Ez esetben a párolgó felszínről kilépő molekulák száma -- bármely hőmérsékleti tartományban -- megegyezik a visszakerülő molekulák számával, azaz

nincs párolgás. Másrészt a termodinamika szerint a párolgás az abszolút nulla foknál teljesen megszűnik. Formulánk ezt a feltételt is kielégíti. Az egyenletnek a $t \leq 0^\circ \text{C}$ feltétel esetén nincs olyan korlátja, mint^a legtöbb empirikus párolgásszámítási formulának, pl. Thornthwaite módszerének, amelyek szerint a $t \leq 0^\circ \text{C}$ esetén az $ET_p = 0$, ami nem igazolható sem fizikailag, sem gyakorlatilag.

Különösen áll ez a megjegyzés azon empirikus összefüggésekre, amelyekben nem a párologtató felszín hőmérsékletét veszik alapul, hanem a hőmérőházban mért adatokat. Tudvalévő, hogy a folyóvizek általában csak tartós negatív léghőmérsékletnél fagynak be, ám a párolgás ekkor sem szünetel. Nem fejeződik be a talaj és a hófelszín evaporációja, sőt a levelét elhullatott, vagy el nem hullatott fák transpirációja sem 0°C alatt, legfeljebb csökken az intenzitása. Száraz, nagy telítési hiányu légtömegben a párolgás még számottevő is lehet a téli negatív hőmérsékletű napokon.

Egyenletünk kielégíti azt a feltételt is, miszerint a léghőmérséklet és a telítési hiány növekedésével fokozódik a potenciális párolgás. A növekedés aránya a 2. ábra görbéi szerint enyhén exponenciális, s ugyanezt az eredményt adja a formula is.

A /18/-as egyenlet konstansait -- mint említettük -- a telítési hiány és a léghőmérséklet valódi napi közepei alapján számítottuk ki, ám a meteorológiai állomásokról rendszerint a 7, 14, 21 órai terminus közepek állnak rendelkezésünkre. A valódi és terminus közepekből számított ET_p értékek kissé eltérnek egymástól, ezért szükségessé vált a terminus korrekciós tényező bevezetése, amelynek értéke 0,9-nek adódott. Az a, b és c konstansok, továbbá a 0,9-es kor-

rekciós tényező ismeretében az alábbi formulákkal számítható ki a klimatológiai potenciális evapotranspiráció napi, ill. havi összege:

$$ET_p = 0,9 /E - e^{0,7/1} + \alpha t^{4,8} \quad \text{mm/nap,} \quad /19/$$

$$ET_p = 0,9 n /E - e^{0,7/1} + \alpha t^{4,8} \quad \text{mm/hó,} \quad /20/$$

ahol n a hónap napjainak száma, a telítési hiány terminus napi közepe hgmm-ben, a léghőmérséklet terminus napi közepe pedig $^{\circ}\text{C}$ -ban helyettesítendő.

A formula használhatóságának, ill. a más éghajlatra kidolgozott összefüggések hazai alkalmazhatóságának értékelésére táblázatba foglaltuk a mért, valamint a különböző empirikus képletekkel számított ET_p havi összegeit /7. táblázat/.

7. táblázat. A mért és a különböző módszerekkel számított ET_p havi összegei az 1965-1967-es időszak átlagában a szarvasi kutatóállomáson.

módszer	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
Mért	74	125	129	163	151	109	751
/20/-as formula	70	108	126	167	152	115	738
Thornthwaite	51	98	116	144	122	81	612
Blaney-Criddle	119	164	183	196	175	130	967
Penman	68	110	125	146	121	70	640
Turc	58	102	130	139	120	88	637
Haude	70	106	117	154	139	97	683
Ivanov	60	93	100	131	123	90	597

A táblázat első sorában a korábban említett három felszín

/standard fü, csupasz talaj, vízfelszín/ mért potenciális párolgásának számtani középértékét közöljük. A második sor adatait a /20/-as formulával számítottuk, míg a további sorokban a legismertebb klimatológiai empirikus módszerekkel /Thornthwaite, 1948; Blaney - Criddle, 1962; Penman, 1948; Turc, 1954 - 1955; Ivanov, 1941/ meghatározott havi összegeket tüntettük fel.

Az adatok bizonyítják, hogy amíg a /20/-as formulával kapott adatok jól megközelítik a mért értékeket az egész tenyészidőszakban, addig az irodalomból átvett módszerek éghajlati viszonyaink között nem elégítik ki a tervezések által támasztott pontossági követelményeket. Ez nem meglepő, az empirikus konstansokat ugyanis a hazaitól eltérő éghajlati zónákra dolgozták ki. Így nem is várható, hogy mindegyik módszer azonos eredményeket adjon. A legjobb közelítést Haude módszerével kaptuk, ami előbbi állításunkat bizonyítja. Haude ugyanis Magyarország éghajlati viszonyaihoz hasonló körülményekre dolgozta ki módszerét, s így empirikus konstansai nálunk is érvényesek. A legnagyobb eltéréseket Blaney - Criddle módszerével számított adatoknál találjuk, ami ugyancsak érthető, formulájukat, s empirikus konstansait ugyanis az Egyesült Államok nyugati területén dolgozták ki, aszályos, fűlsivatagos éghajlati övezetben.

A /20/-as egyenlettel történő számítások megkönnyítése táblázatokat készítettünk a $E - e^{0,7}$ közvetlen leolvasására 0-tól 20,9 hgmm-ig terjedő telítési hiány értékekre, valamint az $1 + \alpha t^{4,8}$ közvetlen leolvasására a -10,9 és a +30,9 °C közötti léghőmérséklet értékekre /8. és 9. táblázat/. A 8. táblázatot minden tized hgmm-re, a 9. táblázatot pedig csak a páros tized fokokra számítottuk ki.

8. táblázat. A $\frac{E-e}{0,7}$ értéke 0 és 20,9 hgmm közötti tellítési hiány esetén.

$\frac{E-e}{\text{hgmm}}$	t i z e d m i l l i m é t e r									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9
1	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6
2	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1
3	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6
4	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1
5	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5
6	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,8	3,8
7	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2
8	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,6	4,6
9	4,7	4,7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,9	4,9	4,9	5,0
10	5,0	5,0	5,1	5,1	5,1	5,2	5,2	5,2	5,3	5,3
11	5,3	5,4	5,4	5,4	5,5	5,5	5,5	5,6	5,6	5,6
12	5,7	5,7	5,7	5,8	5,8	5,8	5,9	5,9	5,9	6,0
13	6,0	6,0	6,1	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,3	6,3
14	6,3	6,4	6,4	6,4	6,5	6,5	6,5	6,6	6,6	6,6
15	6,7	6,7	6,7	6,8	6,8	6,8	6,9	6,9	6,9	7,0
16	7,0	7,0	7,1	7,1	7,1	7,2	7,2	7,2	7,3	7,3
17	7,3	7,4	7,4	7,4	7,4	7,5	7,5	7,5	7,5	7,6
18	7,6	7,6	7,6	7,7	7,7	7,7	7,7	7,8	7,8	7,8
19	7,8	7,9	7,9	7,9	7,9	8,0	8,0	8,0	8,0	8,1
20	8,1	8,1	8,1	8,2	8,2	8,2	8,2	8,3	8,3	8,3

9. táblázat. Az $\frac{1}{1 + \alpha t^{4,8}}$ értékei -10,9 és +30,9 °C közötti léghőmérsékletek esetén.

t °C	t i z e d f o k o k				
	0	2	4	6	8
-10	0,83	0,82	0,82	0,82	0,82
-9	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83
-8	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85
-7	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87
-6	0,90	0,90	0,89	0,89	0,88
-5	0,92	0,91	0,91	0,91	0,90
-4	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
-3	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94
-2	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95
-1	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97
-0	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99
0	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01
1	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03
2	1,03	1,04	1,04	1,04	1,05

t	t i z e d f o k o k				
C°	0	2	4	6	8
3	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07
4	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09
5	1,09	1,10	1,10	1,10	1,11
6	1,11	1,12	1,12	1,12	1,13
7	1,13	1,13	1,14	1,14	1,14
8	1,15	1,15	1,15	1,16	1,16
9	1,16	1,17	1,17	1,17	1,18
10	1,18	1,18	1,19	1,19	1,19
11	1,20	1,20	1,20	1,21	1,21
12	1,22	1,22	1,22	1,23	1,23
13	1,23	1,24	1,24	1,24	1,25
14	1,25	1,25	1,26	1,26	1,26
15	1,27	1,27	1,28	1,28	1,29
16	1,29	1,30	1,30	1,31	1,31
17	1,32	1,32	1,33	1,33	1,34
18	1,34	1,35	1,35	1,36	1,36
19	1,37	1,37	1,38	1,38	1,39
20	1,39	1,40	1,40	1,41	1,41
21	1,42	1,42	1,43	1,43	1,44
22	1,44	1,45	1,45	1,46	1,46
23	1,47	1,47	1,48	1,48	1,49
24	1,49	1,50	1,50	1,51	1,51
25	1,52	1,52	1,53	1,53	1,54
26	1,54	1,55	1,55	1,56	1,56
27	1,57	1,57	1,58	1,58	1,59
28	1,59	1,60	1,60	1,61	1,61
29	1,62	1,62	1,63	1,63	1,64
30	1,64	1,65	1,65	1,66	1,66

A 8. és 9. táblázat segítségével igen egyszerűen és gyorsan kiszámítható az ET_p . A 8. és 9. táblázat segítségével a /20/-as egyenlettel kiszámítottuk az ET_p törzsértékeit Szarvasra, az 1901 - 1950-es periódusra /10. táblázat/. Közzöljük a Thornthwaite módszerrel számított havi összegeket is /Magyarország Éghajlati Atlasza II. kötet, Adattár, 192 - 193 oldal/.

A /20/-as formula szerint az ET_p évi összege 887 mm, s jó közelítéssel egyezik a nagykiterjedésű természetes víz-

felszín -- Balaton -- párolgásával, ami Szesztay /1959/ víz-háztartás-számításai szerint 870 mm, Antal /1963/ hőháztartás-módszerrel végzett párolgásszámításai alapján pedig 904 mm.

10. táblázat. A /20/-as egyenlettel és a Thornthwaite módszerrel számított potenciális evapotranspiráció havi összegei Szarvason az 1901 - 1950-es időszak átlagában.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	év
ET_{p20}	15	17	40	69	102	126	164	155	102	62	24	11	887
ET_{pTh}	0	1	19	49	99	123	142	126	81	44	14	1	699

Érdekes, hogy a /20/-as formulával decemberben kaptuk a legkisebb havi összeget, annak ellenére, hogy a léghőmérséklet ebben a hónapban 2 fokkal magasabb, mint a januári minimum. A 11 mm-es decemberi érték azonban elfogadhatónak tűnik, ha meggondoljuk, hogy a levegő párabefogadó-képessége ebben a hónapban csak fele /0,2 hgmm/ a januári értéknek /0,4 hgmm/.

Az ET_p maximális értékét -- a várakozásnak megfelelően-- mindkét módszerrel júliusban kaptuk, amikor legmagasabb a léghőmérséklet és legnagyobb a telítési hiány. E hónapban számításaink szerint az állandóan nedves felszínről átlagosan 5,0 - 5,5 mm-nyi vízmennyiség párologhat el naponta, de egy-egy száraz, meleg napon a 10 mm-t is elérheti a lehetséges párolgás értéke.

Az előbbieken bemutattuk az általunk kidolgozott módszert a potenciális evapotranspiráció meteorológiai adatokból történő számításához. Formulánkban a léghőmérséklet és a telítési hiány exponenciálisan függ össze a lehetséges párol-

gással. Az egyenlet konstansait a szarvasi hő- és vízháztartásmérő állomás 1965 - 1966. évi adatsora alapján számítottuk ki. A formula lehetővé teszi, hogy a klimatológiai vízszükséglet ET_p havi összegeit 6 %-on belüli pontossággal határozzuk meg. A számítások megkönnyítésére két táblázatot készítettünk, amelyek segítségével a potenciális evapotranspiráció napi vagy havi összegét egyetlen szorzás eredményeként kapjuk.

A kidolgozott módszert az evapotranspirométerekkel mért adatok alapján ellenőriztük, majd összehasonlítottuk a legismertebb klimatológiai empirikus módszerekkel. Megállapítottuk, hogy a /20/-as egyenlet kielégítő pontossággal adja az öntözési tervezések alapadataként tekinthető klimatológiai vízszükséglet havi összegeit.

2.2. A potenciális evapotranspiráció, a csapadék és az éghajlati vízhiány idő- és térbeli változékonysága.

Az öntözési tervezések hidrometeorológiai alapadatainak előállítása során mindenekelőtt azt a kérdést kell tisztáznunk, hogy az ország különböző mezőgazdasági területein szükséges-e öntözni, s ha igen, milyen gyakorisággal és milyen vízmennyiséggel? Ennek eldöntéséhez az éghajlati vízhiánynak H_e

$$H_e = ET_p - C, \quad /21/$$

vagyis a potenciális evapotranspiráció és a csapadék különbségének kell meghatározni az átlagos és szélső értékeit, ugyyszintén a "mértékadó értékeit", tehát azt, hogy adott túllépési valószínűségekhez mekkora vízhiány értékek tartoznak.

Az időbeli változékonyság megállapításához a /20/-as egyenlettel meghatároztuk a potenciális evapotranspirációt 65 esztendőre /1901 - 1965/, mind a 780 hónapra. Ugyanezen időszak havi csapadékösszegeinek ismeretében kiszámítottuk az éghajlati vízhiányt is a /21/-es egyenlettel. A térbeli változékonyság értékelése érdekében két különböző éghajlati körzetben lévő meteorológiai állomásra állítottuk össze a potenciális evapotranspiráció, a csapadék és az éghajlati vízhiány évi összegeinek, valamint tenyészidőszakbeli összegeinek idősorát. A kapott adatokat 11. táblázatunk tartalmazza, ahol az említett vízháztartási összetevőkön kívül közöljük az éghajlati vízhiány nagyság szerinti sorrendjét n is, melynek alapján könnyen megállapítható az adott időszakban előfordult maximális és minimális vízhiány, valamint az adott túllépési valószínűségekhez tartozó közelítő érték.

11. táblázat. A potenciális evapotranspiráció, a csapadék és az éghajlati vízhiány évi összegei az 1901-1965-ös időszakban. Az n az éghajlati vízhiány nagyság szerinti sorrendjét jelöli.

év	ET _p	C	H _e	n	ET _p	C	H _e	n
	D e b r e c e n				S z o m b a t h e l y			
1901	625	607	18	54	795	565	230	11
02	912	685	227	32	601	792	-191	61
03	821	607	214	35	686	838	-152	59
04	865	403	462	9	732	840	-108	51
05	854	581	273	25	734	737	-	3
06	781	711	70	51	663	808	-145	58
07	782	470	312	21	720	692	28	37
08	735	568	167	44	737	499	238	10
09	769	588	181	41	794	624	170	17
10	778	599	179	42	762	892	-130	56
1911	851	426	425	11	824	630	194	14
12	660	769	-109	61	640	722	- 82	48
13	604	586	18	55	649	750	-101	50
14	764	591	173	43	632	717	- 85	49
15	657	874	-217	65	632	922	-290	65

11. táblázat folytatása.

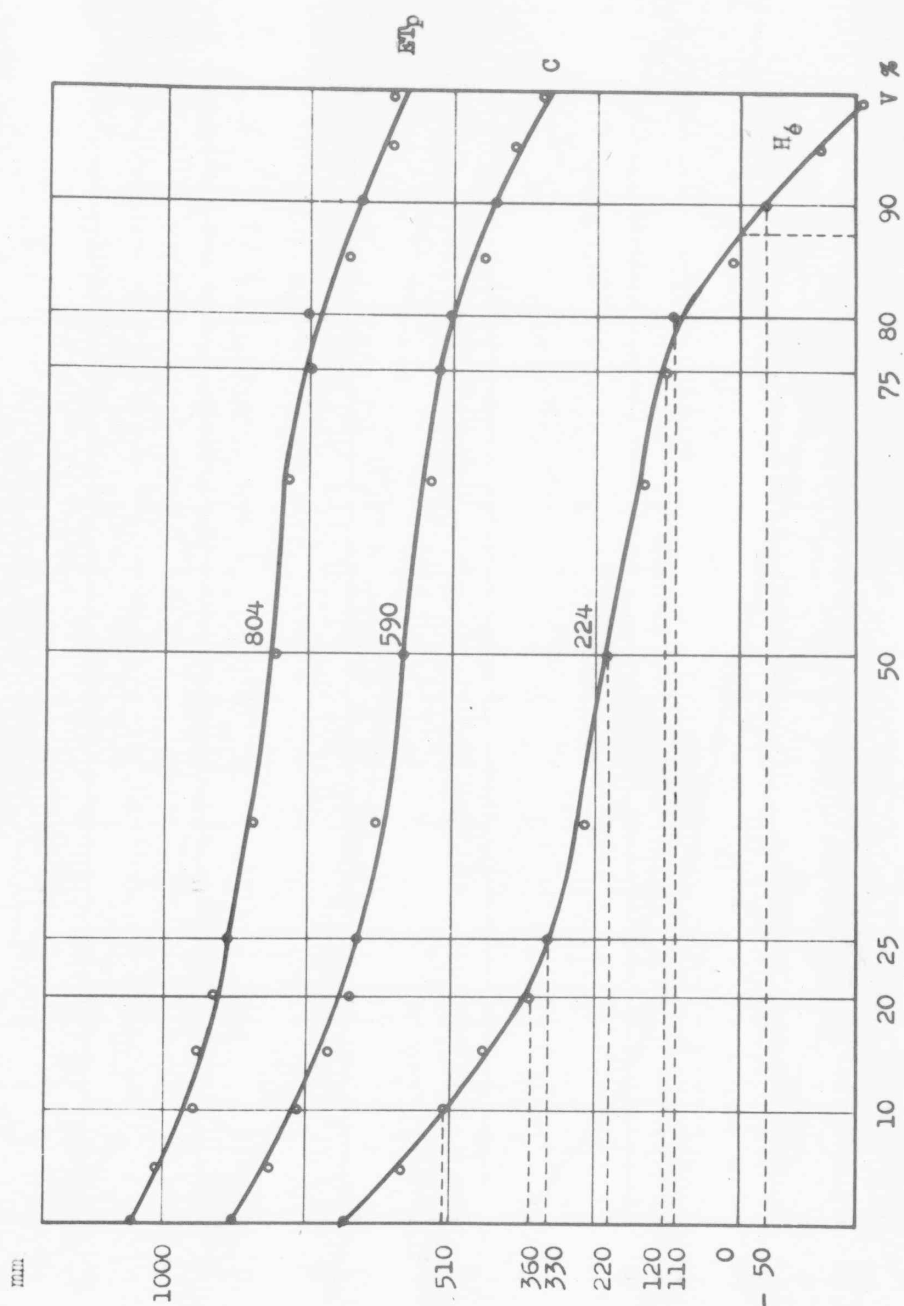
év	D e b r e c e n				S z o m b a t h e l y			
	ET _p	C	H _e	n	ET _p	C	H _e	n
1916	794	652	142	48	677	799	-122	55
17	929	369	560	4	796	557	239	9
18	819	607	212	36	652	767	-115	53
19	628	784	-156	64	588	589	- 1	42
20	781	673	108	50	680	488	192	15
1921	935	424	511	6	735	448	287	6
22	790	729	61	52	690	588	102	26
23	911	434	477	8	644	609	35	36
24	739	531	208	37	559	429	130	21
25	668	663	5	56	615	616	- 1	41
26	767	607	160	45	579	694	-115	54
27	765	735	30	53	681	604	77	30
28	800	509	291	24	731	486	245	8
29	788	443	345	18	702	545	157	20
30	895	516	379	14	761	773	- 12	45
1931	826	517	309	22	674	609	65	32
32	809	447	362	15	852	463	389	2
33	654	698	- 44	59	587	739	-152	60
34	942	342	600	3	769	635	161	19
35	948	414	534	5	745	633	112	24
36	820	675	145	47	715	666	49	34
37	866	677	189	40	686	900	-214	62
38	758	622	136	49	697	576	121	23
39	804	607	197	38	695	706	- 10	44
40	611	758	-147	63	570	787	-217	63
1941	661	786	-125	62	649	788	-139	57
42	826	477	349	17	704	600	104	25
43	956	519	437	10	829	664	165	18
44	752	778	- 26	57	703	815	-112	52
45	818	569	249	27	722	527	195	13
46	1040	365	675	1	937	614	323	3
47	1056	455	601	2	979	560	419	1
48	929	512	417	12	800	756	44	35
49	804	648	156	46	861	564	297	4
50	977	574	403	13	868	682	186	16
1951	793	550	243	28	765	714	51	33
52	931	696	235	30	845	617	228	12
53	792	562	230	31	791	666	125	22
54	705	511	194	39	690	765	- 75	47
55	675	707	- 32	58	682	675	7	40
56	837	517	320	20	695	675	20	38
57	792	551	241	29	757	673	84	28
58	817	599	218	34	738	657	81	29
59	859	354	505	7	776	505	271	7
60	715	494	221	33	724	654	70	31

11. táblázat folytatása.

év	D e b r e c e n				S z o m b a t h e l y			
	ET _p	C	H _e	n	ET _p	C	H _e	n
1961	990	639	351	16	830	538	292	5
62	853	523	330	19	743	725	18	39
63	897	640	257	26	703	716	- 13	46
64	916	624	292	23	794	708	- 86	27
65	695	802	-107	60	723	981	-258	64
átl.:	809	584	225	--	723	670	53	--

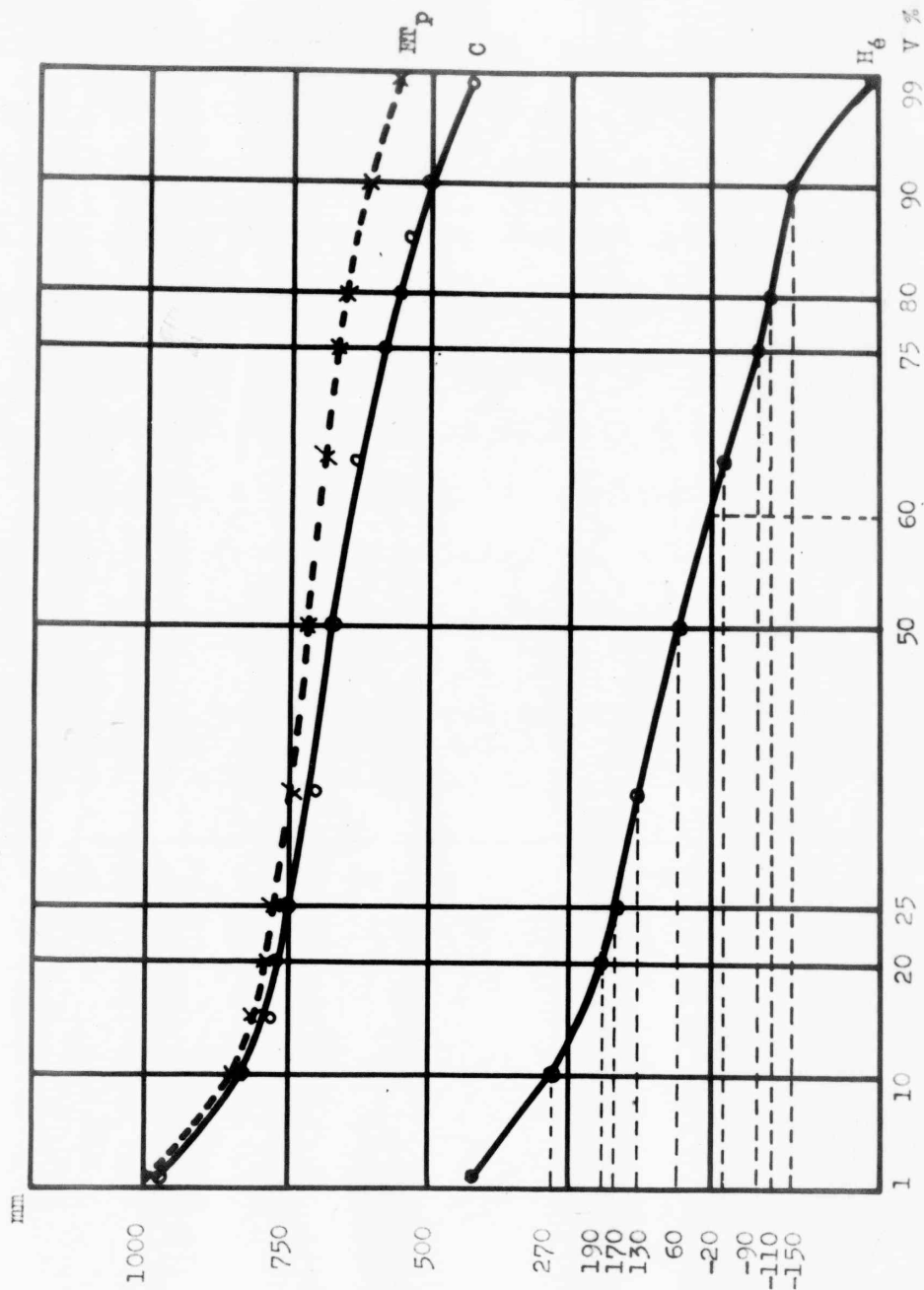
A táblázatból kitűnik, hogy a lehetséges párolgás évi összege igen tág határok között ingadozik mindkét éghajlati körzetben. Debrecen térségében a maximum 1056 mm /1947/, míg Szombathelyen 979 mm /1947/, a minimum pedig 604 mm /1913/, ill. 559 mm /1914/ volt 1901. és 1965. között. Még nagyobb a változékonyság az éghajlati vízhiány évi összegében. Kiemelkedik az 1946. évi 675 mm-es debreceni vízhiány, ami egyrészt az 1040 mm-es magas potenciális evapotranspirációnak, másrészt a rendkívül kevés csapadéknak /évi összeg 365 mm!/ tulajdonítható. Szombathely térségében azonban már csak 419 mm a vízhiány maximális évi összege /1947/, ami a Nyugat-Dunántul-i területek kiegyensúlyozottabb klimatológiai vízháztartására utal. Ezt igazolja a negatív vízhiányu, vagyis vízfölösleggel rendelkező évek száma is. Míg Debrecenben a 65 év során összesen 9 ízben volt vízfölösleg az évi vízháztartási mérlegben, addig Szombathely térségében 25 alkalommal. Ezek közül is kitűnik a debreceni 217 mm-es /1915/, ill. a Szombathelyen tapasztalt 290 mm-es /1915/ évi vízfölösleg.

A 11. táblázatban közölt adatoknak előállítottuk az empirikus eloszlásfüggvényét is /3.4.ábra/. A függvénygörbék alapján megjelöltük az öntözési tervezésekhez használatos



3. ábra. A potenciális evapotranspiráció, a csapadék és az éghajlati vízhiány évi összegének valószínűségi görbéi /Debrecen, 1901 - 1965/.

10, 20, 25, 50, 75, 80 és 90 %-os talajvíz-állapotok-
hoz tartozó vízhiány értékeit. A görbéről leolvasható, hogy



4. ábra. A potenciális evapotranspiráció, a csapadék és az
éghajlati vízhiány évi összegének valószínűségi
görbéi / SZOMBATHELY, 1901 - 1965 /.

10, 20, 25, 50, 75, 80 és 90 %-os túllépési valószínűségekhöz tartozó vízhiány értékeket. A görbékről leolvasható, hogy a vízhiány évi összege Debrecen térségében 220 mm a 65 év átlagában, s amíg 10 évenként csak egyszer fordul elő 500 mm-nél nagyobb vízhiány, addig 13 % valószínűsége van annak, hogy évi összegben vízfölösleg keletkezik, vagyis az évek 87 %-ában keletkezik éghajlati vízhiány. A hűvösebb éghajlatú Szombathelyen átlagosan csak 60 mm az évi vízhiány, s tíz év közül négyben vízfölöslegre lehet számítani.

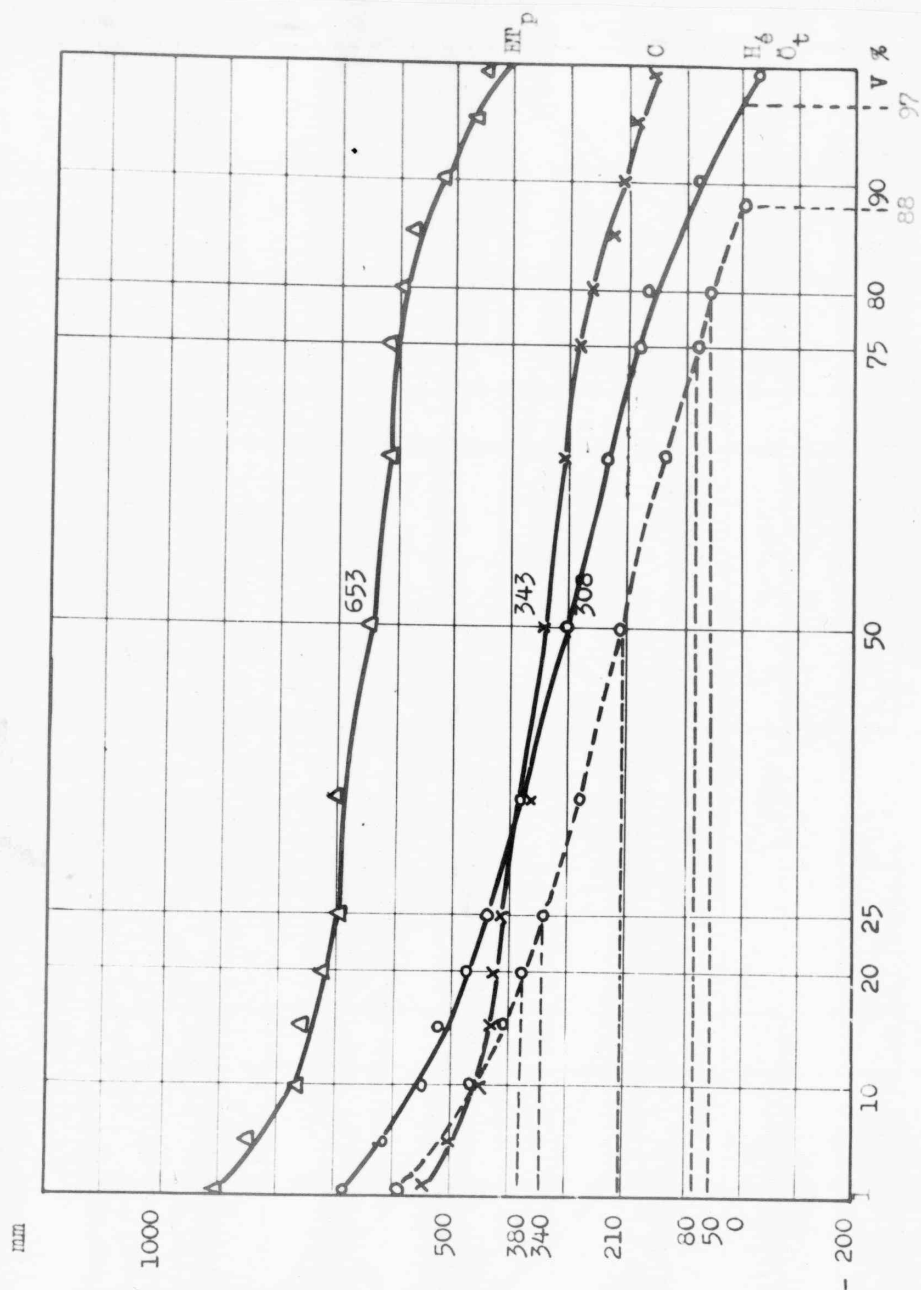
Az öntözési tervezéseknél biztonságosabbak a tenyészidőszakra vonatkozó vízháztartási adatok. A számításokat éppen ezért elvégeztük a meteorológiai értelemben vett vegetációs periódusra /IV. 1-től IX. 30-áig/ is, s az eredményeket a 12. táblázatban, valamint az 5. és 6. ábrán mutatjuk be.

12. táblázat. A potenciális evapotranspiráció, a csapadék és az éghajlati vízhiány összege a tenyészidőben /1901-1965/. Az n az éghajlati vízhiány nagyság szerinti sorrendje.

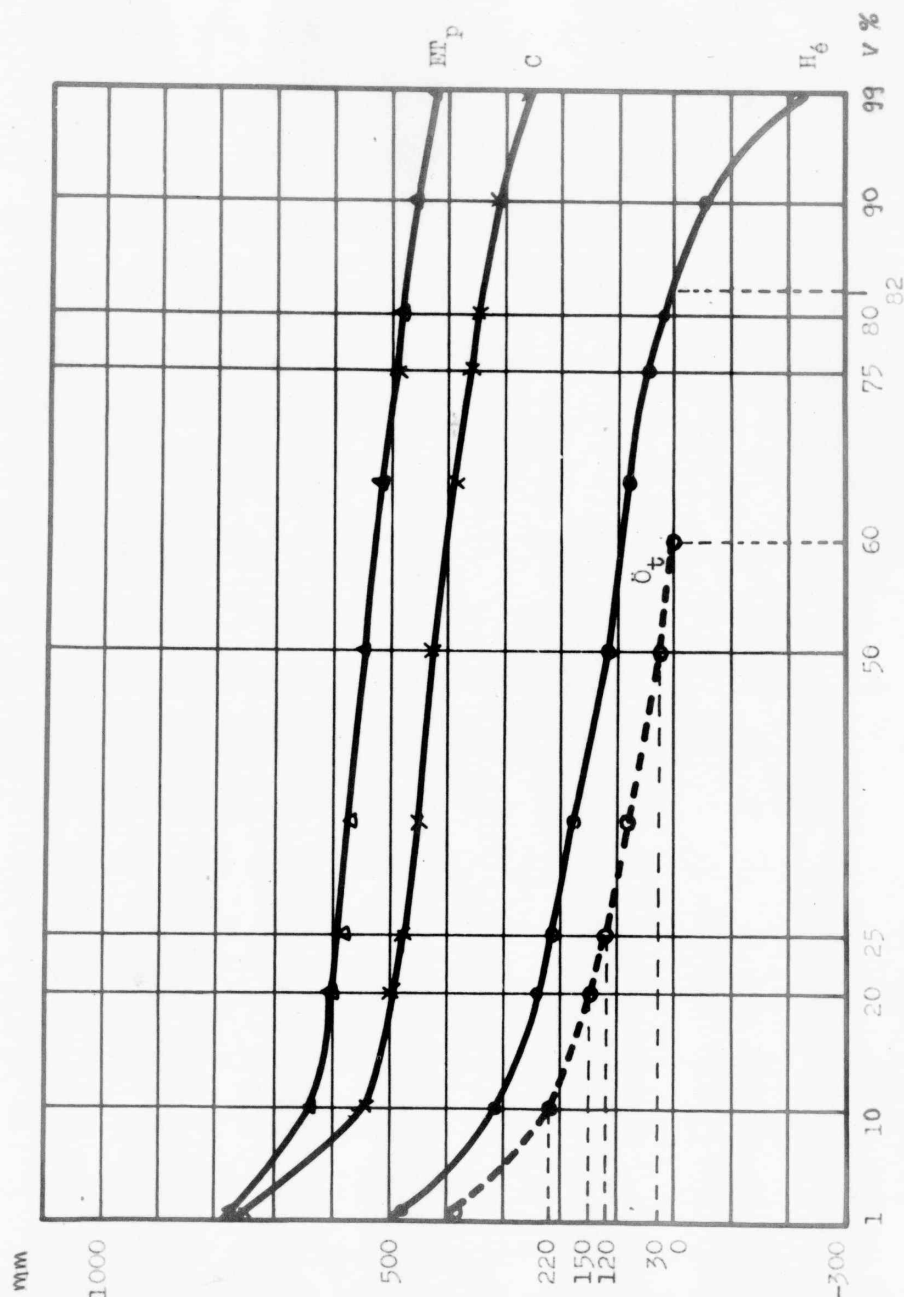
év	D e b r e c e n				S z o m b a t h e l y			
	ET_p	C	H_e	n	ET_p	C	H_e	n
1901	518	338	180	50	600	319	281	7
02	754	414	340	29	432	532	-100	63
03	638	408	230	43	496	476	20	52
04	720	205	515	9	557	480	77	44
05	730	312	418	18	554	383	171	22
06	623	387	236	42	475	558	- 83	61
07	647	276	371	26	507	474	33	49
08	606	310	296	35	573	332	241	13
09	624	361	263	39	591	427	164	26
10	606	386	220	45	539	584	- 45	57
1911	706	221	485	13	620	390	230	15
12	532	504	28	62	471	448	23	51
13	452	473	- 21	65	465	521	- 56	59
14	626	341	285	37	483	529	- 46	58
15	530	459	71	60	461	556	- 95	62
16	631	318	313	32	485	496	- 11	55
17	771	181	590	3	639	289	350	6
18	652	302	350	28	487	570	- 83	60
19	462	352	110	57	460	376	84	42
20	609	438	171	54	504	337	167	24

12. táblázat folytatása.

év	D e b r e c e n				S z o m b a t h e l y			
	ET _p	C	H _e	n	ET _p	C	H _e	n
1921	733	240	493	10	542	319	223	18
22	663	361	302	33	547	397	150	27
23	739	164	575	4	489	350	139	30
24	637	347	290	36	448	381	67	46
25	541	449	92	58	474	466	8	54
26	590	402	188	49	437	477	40	56
27	607	492	115	55	489	449	40	47
28	660	343	317	31	576	340	236	14
29	648	276	372	25	567	314	253	12
30	704	270	434	17	599	453	146	28
1931	686	292	394	20	563	446	117	32
32	686	252	434	16	739	270	469	2
33	516	438	78	59	458	439	19	53
34	748	201	547	7	633	409	224	17
35	754	186	568	5	597	372	225	16
36	654	433	221	44	571	405	166	25
37	688	408	280	38	539	507	32	50
38	599	423	176	51	518	428	90	40
39	680	344	336	30	576	465	111	33
40	509	444	65	61	447	606	-159	64
1941	539	526	13	64	487	403	84	43
42	698	289	409	19	560	451	109	34
43	757	309	448	15	645	435	210	19
44	594	385	209	48	542	451	91	39
45	668	370	298	34	570	311	259	10
46	902	216	686	1	766	368	398	3
47	859	194	665	2	777	293	484	1
48	722	340	382	22	599	502	97	35
49	610	438	172	53	630	360	270	9
50	808	261	547	8	706	329	377	5
1951	596	380	216	47	559	418	141	29
52	791	242	549	6	683	304	379	4
53	612	438	174	52	596	523	73	45
54	561	345	216	46	513	477	36	48
55	517	405	112	56	515	421	94	38
56	684	307	377	23	537	440	97	36
57	618	360	258	41	564	469	95	37
58	685	335	350	27	611	425	186	21
59	670	180	490	12	550	380	170	23
60	557	295	262	40	549	432	117	31
1961	770	309	461	14	620	348	272	8
62	687	194	493	11	568	369	199	20
63	722	350	372	24	544	460	84	41
64	712	324	388	21	629	373	256	11
65	520	499	21	63	541	751	-210	65
átl.::	651	339	312	--	555	430	125	--



5. ábra. A potenciális evapotranspiráció, a csapadék, az éghajlati vízhiány és a redukált vízhiány valószínűségi görbéi a tenyészidőszakban /Debrecen, 1901 - 1965. IV - IX./.



6. ábra. A potenciális evapotranspiráció, a csapadék, az éghajlati vízhiány és a redukált vízhiány valószínűségi görbéi a tenyészidőszakban. /SZOMBATHELY, 1901 - 1965. IV - IX./

A tenyészidőszakban Debrecen térségében 1946-ban volt legnagyobb a lehetséges párolgás /902 mm/ és 1913-ban a legkisebb /452/. A két szélsőérték között csaknem 100 %-os az eltérés. Ugyanezen évekre esik a maximális és minimális éghajlati vízhiány is; az előbbi 686, az utóbbi -21 mm. A tenyészidő átlagos vízhiánya itt 308 mm. Míg az esetek 90 %-ában 80 mm-nél nagyobb vízhiányt kaptunk a vegetációs periódusban, addig az 550 mm-t már csak 10 %-os valószínűséggel lépi túl. A 65 nyári félév során az Alföldnek e keleti térségében mindössze egyetlen alkalommal /1913-ban/ volt vízfölösleg, akkor is csak 21 mm.

A nedvesebb és hűvösebb éghajlatu Szombathelyen jelentősen eltérő eredményekhez jutottunk. A tenyészidőszak potenciális evapotranspirációjának maximuma /777 mm, 1947-ben/ itt mintegy 15 %-kal kevesebb, a minimum /432 mm, 1902-ben/ azonban alig különbözik a debreceni értéktől. Sokkal nagyobb térsébeli eltérés tapasztalható az éghajlati vízhiány tenyészidőbeli értékében. A maximális vízhiány /484 mm 1947-ben/ ebben az éghajlati körzetben 30 %-kal kisebb, s amíg Debrecenben a 65 év folyamán csak egy alkalommal volt vízfölösleg a vegetációs periódusban, addig Szombathelyen 11 esetben lépte túl a lehullott csapadék mennyisége a potenciális evapotranspiráció értékét, vagyis közel minden 5 tenyészidőszak közül egyszer vízfölösleg keletkezett. A debreceni 21 mm-es vízfölöslegnek itt éppen 10-szeresét kaptuk / -210 mm, 1965-ben/ legnagyobb értéként.

Az öntözés hatékonyságának meghatározásához tudni kell, hogy az adott öntözőrendszer vízszállítóképeségének teljes kihasználásával milyen biztonsággal tudja szolgáltatni a szükséges öntözővizet. E kérdés tisztázásához már nem elég-

séges a természetes vízhiány évi és tenyészidőszakbeli összegének ismerete. Az évi öntözővízszükséglet, amely az időjárási tényezők hatására igen tág határok között változik, ugyan együtt ingadozik a természetes éghajlati vízhiánnyal /amit a 11. és 12. táblázatban bemutattunk évre is, meg tenyészidőszakra is/, ám számszerű értéke nem egyezik meg azzal. Az öntözési tervezésekhez általában egy mértékadó értéket kell kiválasztani. A mértékadó érték meghatározásához hasznos lehet ismerni az éghajlati vízhiány ingadozásának várható értéktartományát, s azt, hogy a különböző értékeket meghaladó vízhiányra milyen valószínűséggel /átlagosan hány évenként/ számíthatunk, a pontosabb tervezésekhez az éghajlati vízhiány ^{azonban} mellett ismerni kell az öntözővízszükséglet közelítő értékét is.

Az öntözővízszükséglet közelítő értékeként a területi öntözővízszükségletet tekinthetjük, amit úgy számítottunk ki, hogy a vegetációs periódus /IV. 1. és IX. 30. közötti időszak/ éghajlati vízhiányából levontuk a tenyészidőszak végére várható talajnedvességkészlet változást ΔK , vagyis azt a talajnedvességkészletet, amit a növények az április 1-én induló nedvességkészletből szeptember végéig felhasználhatnak. A területi öntözővízszükséglet \bar{O}_t kiszámítására a következő egyszerűsített vízháztartási egyenletet használtuk:

$$\bar{O}_t = H_e - \Delta K = \sum P - C - \Delta K. \quad /22/$$

A ΔK becsléséhez felhasználtuk az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete által a debreceni és a szombathelyi meteorológiai állomás területén mért szántóföldi vízkapacitást és holtvizardalmat, továbbá a téli félév átlagos csapadékmennyiségét, a tenyészidőszak természetes evapotranspi-

rációjának közepes értékét /Kakas, Szepesiné, 1963/, a nyári félév csapadékát /12. táblázat/, valamint az átlagos lefolyás havi értékeit /Puskás, szerk., 1958/. Szepesiné, 1966/. Klimatológiai becsléseink szerint Debrecen térségében szeptember végén mintegy 100 mm-rel, míg Szombathelyen 80 mm-rel kevesebb a talaj 1 m-es fedőrétegének nedvességtartalma az április elejeihez képest. A területi öntözővízszükséglet meghatározásánál a ΔK értékét így Debrecenben 100 mm-nek, Szombathelyen 80 mm-nek tekintettük. A ΔK -val csökkentett éghajlati vízhiány értékeit szaggatott görbével rajzoltuk /5. és 6. ábra/.

Az \bar{O}_t közelítőleg az olyan növényállomány öntözővízszükségletét jelenti, amelynek tenyészidőszaka mintegy 6 hónap, s növénykonstansa 1,0 körüli. Ilyen többek között a rendszeresen öntözött lucerna, vöröshere, szudáni fű, rét, legelő és a parkok pázsitja. Rövidebb tenyészidőszaku, vagy kisebb növénykonstansu növényállományok évi öntözővízszükséglete /idénynormája/ azonban a szaggatott görbe által definiált értékektől is eltér.

Az \bar{O}_t jelzésű valószínűségi görbe szerint Debrecen térségében a legvizigényesebb és a leghosszabb öntözési idényű mezőgazdasági növénykultúrák átlagos öntözővízszükséglete sem mulja felül a 210 mm-t. Az eseteknek itt csak a 12 %-ában, vagyis átlagosan 8 év közül egyszer nincs szükség öntözésre, ám 10 évenként egy alkalommal a 450 mm-t is meghaladja a hosszú tenyészidejű növények öntözővízszükséglete. A 10, 20, 25, 50, 75, 80 és 90 %-os valószínűséghez tartozó értékeket szaggatott vízszintes vonallal külön is feltüntettük.

A hűvösebb és csapadékosabb Nyugat-Dunántúlon a területi öntözővízszükséglet sokévi átlaga csak hetedrésze /30 mm/

az Alföldön tapasztalt értékek, s a valószínűségi görbe szerint e térségben 10 év közül csak hatban kell öntözni. A hosszú tenyészidőszaki növények öntözővizszükséglete a rendkívül aszályos években /1932., 1947./ még itt is felül mulhatja a 400 mm-t.

Mezőgazdasági kulturáink tenyészidőszaka rendszerint eltér a IV. 1 - IX. 30. közötti időtartammal definiált vegetációs periódustól, öntözővizszükségletük ezért jelentősen különbözhet az 5. és 6. ábrán szaggatott görbével kijelölt, s a 6 hónapra vonatkozó területi öntözővizszükséglettől. A vegetációs periódus átlagában legtöbb növényféleségnél a $k = 1$ feltétel sem teljesül, ugyanis a vetés utáni és a betakarítás előtti hosszabb-rövidebb időszakban általában 0,5-nél is kisebbek a növénykonstansok. A tenyészidőszak átlagára pl. Blaney és Criddle /1962/ k értékeit 0,6 - 0,8 között adják meg az öntözött kapás növényekre. Így a $k = 0,70$ egyenlőség esetén 30 %-kal csökkentendő a 6 hónapos tenyészidejű növényállományoknál a görbéről leolvasott érték. Rövidebb tenyészidejű fajták esetén a /22/-es egyenletet havonkénti bontásban kell megoldani. Valamely adott növényállomány sokévi átlagos öntözővizszükségletének kiszámítására kidolgozott módszerünket a következő fejezetben mutatjuk be. Az eljárás alkalmazására példát is közlünk a középkései érésű kisvárdai rózsaburgonyára.

Az éghajlati vízhiányról és a területi öntözővizszükségletről összefoglalva elmondhatjuk, hogy ezek számszerű értékei elsősorban az általános öntözési tervezésekhez használhatók, mint öntözési határeseteket /maximális öntözővizszükséglet, vagy mint az öntözővizszükséglet felső határa egy adott öntözőrendszerben stb./ tükröző adatok. Bemutatott

eljárásunk lehetővé teszi a klimatológiai vízszükséglet, vízhiány és vízfölösleg, ill. a területi öntözővízszükséglet idősorának előállítását az évi, a tenyészidőszakbeli, vagy akár a havonkénti összegek alapján. Az idősorok előállíthatók minden klímaállomásra, ahol rendelkezésünkre áll a léghőmérséklet, a telítési hiány kiszámításához szükséges páraparancs, valamint a csapadék több évtizedes adatsora. Ha elegendő hosszúságu az \overline{ET}_p , a C , ill. a H_e és az \overline{O}_t értékeinek kiszámított idősora, megszerkeszthető a klimatológiai vízszükséglet, az éghajlati vízhiány és a területi öntözővízszükséglet empirikus eloszlásfüggvénye, /Szesztay, 1966/.

Az empirikus eloszlásfüggvények birtokában az ország bármely éghajlati körzetében választ kaphatunk a fejezet elején fölvetett kérdésekre, vagyis arra, hogy kell-e az adott területen öntözni, ha igen, milyen gyakorisággal, s mekkora vízmennyiséggel. Válaszolhatunk továbbá arra, hogy az öntözési szükséglet hogyan változik térben és időben. Ha elegendő számú állomásra számítjuk ki az említett tényezők értékeit, kijelölhetjük azokat az éghajlati körzeteket, amelyekben az öntözés szükségessége azonos, vagy hasonlóképpen alakul mind a mennyiségi, mind minőségi jellemzők tekintetében.

Bár a 11. és 12. táblázat, továbbá a 3., 4., 5. és 6. ábra alkalmas lehet a területi öntözővízszükséglet térbeli és időbeli változékonyságának megállapítására, az öntözés táblánkénti és üzemegységenkénti megtervezéséhez azonban fajtánként és fajtánként kell ismerni a mezőgazdasági növénykultúrák vízszükségletét és tényleges öntözővízszükségletét. A továbbiakban olyan eljárást mutatunk be, amely lehetővé teszi bármely növényállomány vízszükségletének és öntözővízszükségletének kiszámítását meteorológiai adatok alapján.

2.3. A különböző növényállományok átlagos öntözővizszükségletének kiszámítása.

Valamely adott mezőgazdasági növénykultúra öntözővizszükségletének megbecsléséhez nem ad kielégítő eredményt a potenciális evapotranspiráció és a csapadék különbségeként definiált éghajlati vízhiány, ehelyett a növényállomány vízszükségletét kell ismernünk, amit az optimális evapotranspirációval jellemezhetünk leginkább, valamint tényleges /természetes viszonyok közötti/ vízfogyasztását, vagyis tényleges evapotranspirációját. Az átlagos öntözővizszükségletet ezek szerint a következő összefüggéssel számíthatjuk ki bármely növényfajtára:

$$\bar{O}_a = ET_{opt} - ET_a . \quad /23/$$

Az eljárás alkalmazását a kiskvárdai rózsa burgonyára mutatjuk be a debreceni meteorológiai adatok felhasználásával. A módszer alkalmazásához mindenekelőtt ismerni kell az adott növényfaj vetésének és betakarításának átlagos időpontjait, ami Debrecen térségében IV. 11. és IX. 5. Az átlagos tenyészidőszak tehát 148 nap az említett burgonyafajtánál.

A fenti időpontok közötti periódusra a /20/-as egyenlettel minden évben kiszámítjuk a potenciális evapotranspiráció havonkénti értékeit /áprilisban a vetés napjától a hónap végéig, ill. szeptemberben elsejétől a betakarítás napjáig; ld. 13. táblázat a./ sorait/. Ha az ET_p havi összegeit megszorozzuk a b./ sorokban közölt k értékekkel, amelyek meghatározásával egy későbbi fejezetben foglalkozunk, megkapjuk a növényállomány teljes vízszükségletét jellemző optimális evapotranspiráció havi összegeit /13. tábl. c. sorai/. A tört

hónapok figyelembevételével következő lépésként kiírjuk a havi csapadékösszegeket /d. sorok/, majd kiszámítjuk a talajnedvességekészlet havonkénti csökkenését.

A ΔK meghatározásához ismernünk kell az 1 m-es fedőréteg VK, HV, DV, w_{kr} , w_i és w_b értékeit. Példánkban a debreceni homokos talaj szántóföldi vízkapacitása VK = 321 mm, holtvиз tartalma HV = 91 mm, diszponibilis vízkészlete DV = 230 mm. A burgonya fejlődésének kritikus talajnedvesség tartalmát /vagyis az optimális talajnedvességekészlet alsó határát/ a hazai /Hajdu, 1964, 1967/ és a külföldi /Avrigenau, 1960; Iljin, 1963; Cihova, 1961; Albinet 1959/ kutatások szerint a szántóföldi vízkapacitás 70 %-ában állapíthatjuk meg. A tavasszal induló talajnedvességekészlet /e. sorok/ a megelőző téli félévben lehullott csapadék és a lefolyás ismeretében határozható meg /magas talajvíz esetén nem hanyagolható el a mélyebb rétegekbe szivárgott víz mennyisége sem/. A burgonya által a téli félév csapadékából felhasznált vízmennyiség ~~xxx~~ végülis az induló és a befejező vízkészlet különbségeként kapható meg, azaz:

$$\Delta K = w_i - w_b, \quad /24/$$

ahol öntözött növényállomány esetében a w_b -t jó közelítéssel helyettesíthetjük a w_{kr} -rel, mivel az optimálisan öntözött növények talaja a tenyészidőszak végére legfeljebb a kritikus talajnedvességekészlet értékéig csökkenhet. A w_b értékeit a táblázat e. soraiban, míg a ΔK -t az f. sorokban közöljük.

Ha alföldi viszonylatban a burgonya tenyészidőszakában /április 11. és szeptember 5. között/ a lefolyást elhanyagoljuk, akkor az öntöztelen növényállomány tényleges /természetes viszonyok közötti/ evapotranspirációját a vízháztartási mérleg

szerint az adott hónapban lehullott csapadék és a talajnedves-ségkészlet csökkenése szolgáltatja, vagyis

$$ET_a = C + \Delta K. \quad /25/$$

A tényleges evapotranspiráció havi összegei a táblázat g. soraiban találhatók.

A burgonyaállomány öntözővízszükségletét /h. sorok/ a /23/-as formula szerint a c. és a g. sorok adatainak különbségeiből kapjuk.

A fent leírt módszerrel az öntözési tervezések számára legfontosabbnak tekinthető négy esetre számítottuk ki a kiskvárdai rózsaburgonya öntözővízszükségletét. Nevezetesen, meghatároztuk a sokévi átlagos értéket, a maximális /1946-ban/ és a minimális /1913-ban/ összegeket, valamint a 80 %-os biztonságot adó szintet, vagyis azt az értéket, amelynél nagyobb öntözővízszükséglet 10 év közül csak két esetben fordulhat elő. Számításaink eredményét 13. táblázatunkban foglaltuk össze.

A táblázat adatai szerint a burgonya sokévi átlagos öntözővízszükséglete Debrecen térségében 56 mm. Aszályos években -- mint pl. 1946-ban -- azonban a 260 mm-t is elérte, s ez az érték majdnem ötszöröse az átlagos öntözővízmennyiségnek.

A 80 %-os valószínűségű szintet gyakran tekintik az öntözési tervezések alapjául. Ez a számérték azt jelenti, hogy az öntözővízszükséglet ennél az értéknél az esetek 80 %-ában kisebb, s csak 20 %-ában múlja felül. A 80 %-os biztonságu érték 160 mm, majdnem háromszorosa az átlagos értéknek. A 160 mm-nyi mennyiségből júniusra 33, júliusra 89 és augusztusra 38 mm öntözővíz tervezendő.

13. táblázat. A burgonya átlagos, szélsőséges és 80 %-os biztonságu öntözővízszükséglete, valamint a kiszámításához szükséges meteorológiai tényezők./Debrecen, 1901 - 1965. IV.11-től IX. 5-ig/. /mm-ben/

meteorológiai tényezők	IV.11- IV.30.	V	VI	VII	VIII	IX.1- IX.5.	tenyész- időben, IV.11- IX. 5.
a./ ET_p	47	105	117	143	131	14	557
b./ k	0,55	0,68	0,90	0,86	0,58	0,44	0,72
c./ $ET_{opt}=k \cdot ET_p$	26	71	105	123	76	6	407
d./ C	15	58	73	58	61	7	272
e./ $w_i, ill. w_b$	305	--	--	--	--	225	--
f./ ΔK	11	13	32	24	0	0	80
g./ ET_a	26	71	105	82	61	7	352
h./ $\bar{O}_a = ET_{opt} - ET_a$	0	0	0	41	15	0	<u>56</u>
maximálisan /1946-ban/							
a./ ET_p	59	128	147	207	198	22	761
b./ k	0,55	0,68	0,90	0,86	0,58	0,44	0,72
c./ $ET_{opt}=k \cdot ET_p$	32	87	124	178	115	10	546
d./ C	4	107	37	32	31	0	211
e./ $w_i, ill. w_b$	289	--	--	--	--	225	--
f./ ΔK	28	-20	66	0	0	0	64
g./ ET_a	32	87	103	32	31	0	285
h./ $\bar{O}_{max} = ET_{opt} - ET_a$	0	0	21	146	84	10	<u>261</u>
80 %-os szinten							
a./ ET_p	52	116	129	158	144	16	615
b./ k	0,55	0,68	0,90	0,86	0,58	0,44	0,72
c./ $ET_{opt}=k \cdot ET_p$	29	79	116	136	84	7	451
d./ C	12	47	58	47	48	5	217
e./ $w_i, ill. w_b$	3299	--	--	--	--	225	--
f./ ΔK	17	32	25	0	0	0	74
g./ ET_a	29	79	83	47	48	5	291
h./ $\bar{O}_{80\%} = ET_{opt} - ET_a$	0	0	33	89	36	2	<u>160</u>
minimálisan /1913-ban/							
a./ ET_p	41	75	111	84	64	9	384
b./ k	0,55	0,68	0,90	0,86	0,58	0,44	0,72
c./ $ET_{opt}=k \cdot ET_p$	23	51	100	72	37	4	287
d./ C	41	41	54	152	118	8	414
e./ $w_i, ill. w_b$	321	--	--	--	--	321	--
f./ ΔK	0	10	46	-68	-58	-1	-65

A 13. táblázat folytatása.

meteorológiai tényezők	IV.11- IV.30	V	VI	VII	VIII	IX.1- IX.5.	tenyész- időben, IV.11 - IX. 5.
g./ ET_a	41	41	100	84	64	9	349
h./ $\bar{O}_{min} = ET_{opt} - ET_a$	-18	0	0	-8	-27	-5	-58

A másik szélsőértéket 1913-ban találjuk, amikor a le-
hullott csapadék kielégítette a burgonyaállomány teljes víz-
szükségletét, sőt egyes hónapokban /áprilisban, júliusban és
szeptemberben/ a tényleges evapotranspirációt felül is multa
a csapadékösszeg, s minthogy a talaj telítve volt, vízfölös-
leg keletkezett, ami lefolyás és leszivárgás útján távozott
az 1 m-es fedőrétegből. A tenyészidőszak összes tényleges
evapotranspirációja 58 mm-rel volt több az optimális evapo-
transpirációnál, s így majdnem az egész periódusban potenci-
ális volt a párolgás. Ebben az évben öntözésre nem volt szük-
ség egyetlen alkalommal sem.

A bemutatottak alapján megállapítható, hogy Debrecen
térsgében a burgonya öntözővízszükséglete tág határok kö-
zött változik / 0 és 261 mm között/ éppen úgy, mint az ég-
hajlati vízhiány, ezért az öntözési tervezéseknél a mérete-
zést körültekintően kell végezni. Az éghajlati vízhiány és
a valóságos öntözővízszükséglet értékeinek /11., 12. és 13.
táblázat/ összehasonlításából kitűnik, hogy bizonyos esetek-
ben még a tervezésekhez is ajánlatos lehet növényfélésegen-
ként is elkészíteni a vízszükséglet / ET_{opt} /, a tényleges víz-
fogyasztás / ET_a / és az öntözővízszükséglet valószínűségi el-
oszlását ábrázoló empirikus függvényeket. Ezek alapján ugyanis

a 0 és a 100 %-os érték között bármely valószínűséghez tartozó ET_{opt} , ET_a és \bar{O} érték meghatározható, közvetlen leolvasás útján. A 13. táblázatból az is kitűnik, hogy nem célszerű minden évben ugyanazon öntözővizsnorma szerint öntözni, mivel az esetek felében így a tényleges vízszükségletnél több, a másik felében pedig kevesebb jut az állomány számára.

3. AZ ÖNTÖZŐVIZSZÜKSÉGLET ÉS AZ ÖNTÖZÉSI IDŐPONT ELŐREJELZÉSE METEOROLÓGIAI ADATOK ALAPJÁN

A különböző mezőgazdasági növénykultúrák öntözővizszükségletének és öntözésük időpontjának előrejelzéséhez mindenekelőtt a növényállomány teljes vízszükségletét /a transpiráció és evaporáció együttes értékét/ kell ismernünk. A növény vízszükségletének folyamatos kielégítését a természetes vízforrások és az öntözés teszi lehetővé. Az öntözéssel biztosítani kell a növény optimális vízellátását az egész tenyészidőszakban, amit az öntözővizszükséglet ismeretében hajthatunk végre szakszerűen. Az öntözővizszükséglet meghatározásánál rendszerint az állomány vízháztartási egyenletéből indulnak ki, amely szerint az \bar{O} nem más, mint a növényállomány vízszükségletének $/V_s/$ a természetes vízbevételekkel csökkentett és a természetes vízvesztésekkel megnövelt értéke. Idő- és térbeli változását az

$$\bar{O} = V_s - C + \Delta K + T_v + L + S \quad /26/$$

vízháztartási egyenlettel követhetjük nyomon. Az összefüggés azt a vízmennyiséget adja meg, amely a gyökérzónából hiányzik,

amikor a talaj a kritikus talajnedvesség értékig kiszáradt.

Az egyenlet jobboldalán lévő komponensek meghatározása vízháztartási módszerekkel nagyon fáradságos, sőt, rövid időszakokra /pl. napokra/ az öntözési gyakorlatban majdnem lehetetlen. Éppen ezért olyan eljárást kell keresnünk, amely lehetővé teszi a könnyen hozzáférhető meteorológiai adatokból történő számítást.

A /26/-os egyenlet jobboldalának összetevőit meteorológiai adatok alapján az evapotranspiráció fogalmával közelíthetjük meg. Az optimális vízellátású növényállomány összpárolgását optimális evapotranspirációnak nevezhetjük /optimális vízellátásról beszélhetünk akkor, ha a gyökérzóna talajnedvessége nem csökken az un. kritikus érték alá az egész tenyészidőben/. Ha a növényállomány vízszükségletét azonosnak vesszük az optimális evapotranspiráció számszerű értékével, felírhatjuk az alábbi egyenlőséget:

$$V_s = ET_{opt} \quad /27/$$

Könnyű belátni, hogy a /26/-os egyenlet jobboldalán a vízszükségleten kívül olyan vízháztartási összetevők találhatók, amelyek együttes értéke a természetes térszín tényleges evapotranspirációját adja, azaz

$$C + \Delta K + T_v - L - S = ET_a \quad /28/$$

A nehezen meghatározható öt vízháztartási összetevő ezen összefüggéssel tehát egyetlen meteorológiai tényezővel helyettesíthető. A /27/-es és a /28/-as egyenletből következik, hogy a /26/-os összefüggéssel definiált öntözővízszükséglet

a következő egyszerű formulával számítható:

$$\bar{O} = ET_{opt} - ET_a$$

/29/

Az öntözővíz szállítása során számos veszteséggel kell számolnunk /elszivárgás, csurgalékviz, párolgás stb./. A veszteségekkel megnövelt öntözővízszükségletet a továbbiakban öntözővizigénynek nevezzük. Meghatározásával nem foglalkozunk, mivel a veszteség mértéke elsősorban a technikai felkészültségtől, az öntözés módjától, a talajfajtatól, a vizszállító csatorna állapotától, tehát nem meteorológiai tényezőktől függ. A veszteségnek csak kisebb részét képezi az öntözés folyamán és a szállítás során fellépő evaporáció. Az öntözővizigényt végső soron technikai vagy műszaki öntözővízszükségletnek is nevezhetnők.

A /29/-es egyenlet szerint a különböző növényállományok öntözővízszükségletének kiszámítása tehát az adott mezőgazdasági növénykultúra optimális- és tényleges /természetes, nem öntözött viszonyok közötti/ evapotranspirációjának meghatározására vezethető vissza, s az öntözés előrejelzése következésképpen e két meteorológiai tényező folyamatos nyomonkövetése útján hajtható végre. További feladatunk olyan módszerek kidolgozása, amelyek lehetővé teszik az ET_{opt} és az ET_a meghatározását az állomáshálózatban megfigyelt meteorológiai adatok alapján.

3.1. Az optimális evapotranspiráció meghatározása.

Az optimális evapotranspirációt általában számítások útján határozzák meg, ám kellő körületekintéssel mérhető is.

A mérőeszközt úgy kell megválasztani minden esetben, hogy a mért adatok legalább 20 - 30 kh kiterjedésű növényállományt reprezentáljanak. Ha ez nem biztosítható, az adatokat átszámítási tényezőkkel kell ellátni.

A számítási módszerek közül régebben az agroklimatológiai eljárást alkalmazták, amelynek lényege abban áll, hogy a megfelelő hosszúságú termésstatisztikai adatsorból kiválogatjuk a legjobb termésű éveket, s ezek tenyészidőszakában összegezzük a lehullott csapadékot. Az összegezett csapadékot tekintjük az adott növényállomány vízszükségletének. Az így számított vízszükséglet a tényleges értéknél valószínűleg kisebb, mivel a legjobb termésű években sem volt állandóan optimális a vizellátás, amellet nem veszi figyelembe ez a módszer a téli csapadékból tárolt, s a tenyészidőszak folyamán felhasznált vízmennyiséget sem.

A módszer előnye, hogy valóságos termesztési viszonyokra vonatkozó adatokat kapunk, továbbá, hogy az eljáráshoz szükséges adatok több évtizedre rendelkezésünkre állnak. Hátránya, hogy csak olyan területekről származó adatok dolgozhatók fel, ahol nem kell a tenyészidőben lefolyással, a talajvizbe való leszivárgással és a talajvizből történő vízfelvétellel számolnunk, vagy legalábbis elhanyagolhatók ezek értékei.

A módszer alkalmazását megnehezíti az a tény is, hogy az évek folyamán a terméseredmények fokozatosan emelkednek a vizgazdálkodás megváltozásától függetlenül is /több műtrágya, nagyobb hozamu fajták, korszerűbb művelési módok stb./, bár ez a tényező a trendszámítással kellőképpen figyelembe vehető. Végül e módszer legnagyobb hibájául az róható fel, hogy a vízszükséglet tenyészidőbeli változásának

figyelemmel kísérését egyáltalán nem teszi lehetővé.

A szántóföldi növényállomány vízszükségletének másik meghatározási módja a vizháztartás-mérő módszer. Különböző öntözőviz adagokkal biztosítják a növény "vélt" optimális vizellátását, miközben mérik az aktív gyökérzóna vizháztartásának összetevőit. A legjobb és legtöbb termést hozó táblák /figyelenbe véve az öntözés hatékonyságát is/ összes vízbevételéből levonva az összes vízkiadást, kapják az adott növényállomány vízszükségletét. E módszer előnye, hogy közvetlenül nagyüzemi viszonyokra érvényes adatokat kapunk, hátrányaként a talajmintavétellel járó fáradtságos és sok időt követelő munkát tekintik. Megfelelő körültekintéssel és alkalmas műszerekkel végzett mérések esetén a módszer etalonnak tekinthető.

E módszert vannak hivatva helyettesíteni a kisparcellás kísérletek. Száraz környezetben a kisparcellákon mért vízszükséglet éppugy, mint a tenyészedénnyel kapott adatok, csak átszámítás /redukció az oázis-hatás miatt/ \pm után használhatók gyakorlati célokra.

Ujabban nagyméretű evapotranspirométereket alkalmaznak a vízszükséglet meghatározására, ill. időbeli és térbeli változásának vizsgálatára. Az evapotranspirométeres módszerre azonban ugyanaz vonatkozik, mint amit a kisparcellás mérő-módszernél elmondtunk: adatai csakis akkor tekinthetők vízszükségletnek, ill. optimális evapotranspirációnak, ha azt -- számos kutató szerint /Thornthwaite, 1948; Green, 1959, 1960/ -- minimálisan 200 m-es körzetben az evapotranspirométerével azonos vizellátású növényállomány övezi, azaz, ha a tenyészpad legalább 20 - 25 kh kiterjedésű öntözött tábla középpontjában van elhelyezve. Ha ennél kisebb táblán, par-

parcellán, ill. ha nem öntözött környezetben nyer elhelyezést a mérőműszer, akkor száraz éghajlaton és száraz időszakokban a tényleges vízszükségletnél nagyobb értékeket mérünk az evapotranspirométerrel. Minthogy a mi kísérleteinkben sem tudtuk biztosítani, hogy a tenyészkádát kiterjedt, azonos vizellátású növényállomány határolja, a mért értékeket nem tekinthetjük vízszükségletnek, ill. optimális evapotranspirációnak. Éppen ezért az evapotranspirométerrel mért adatokat effektív evapotranspirációnak nevezzük, s csak a redukált értéket tekintjük optimális evapotranspirációnak. E megkülönböztetésre azért van szükség, mert szélsőséges esetben 50 - 100 %-kal is felül mulhatja az evapotranspirométeres adat a tényleges vízszükségletet. E kérdéssel a továbbiakban még részletesebben foglalkozunk. Általánosságban azonban már most megállapíthatjuk, hogy minél kisebb területű a kádát környező parcella, ill. minél szárazabb a környezet, annál nagyobb a mért evapotranspiráció a tényleges vízszükséglethez képest.

A fent röviden vázolt eljárások közül mi az evapotranspirométereket használtuk az optimális evapotranspiráció alapadataként vett vízfogyasztás mérésére.

3.1.1. Az optimális evapotranspiráció mérése.

A vízszükséglet mérőeszközeként korábban a könnyen mozgatható és jól kezelhető, kisméretű tenyészedenyeket tekintették. Később, amikor a termőter vízháztartásának összetevőit elfogadható pontossággal kezdték mérni, egyre inkább elterjedt a kisparcellás módszer. Míg az előbbi mérőmód-szer hibája az erősen mesterséges termesztési körülmények-

ben rejlik /a növényegyedek nélkülözik a saját maguk alakította állományklimát, mivel a szántóföldi viszonyokétól eltérő sugárzás-, hő- és vízháztartási rendszerben élnek/, addig az utóbbi kísérleti eljárás a rövid időszakokra kevésbé definiálható vízháztartási rendszerével tűnik ki.

Lényegesen pontosabb eredményeket ad az általunk is használt evapotranspirométeres eljárás, amelynek legfőbb eredménye a zárt vízháztartási rendszer mellett a természetes viszonyok közötti elhelyezés. A műszert először a potenciális evapotranspiráció mérésére alkalmazták /naponta felülről öntözve a kádat/, s csak az elmúlt évtizedben kezdték használni a vízszükséglet mérésére /magas talajvízszintet tartva a tenyészedényben/. Noha az evapotranspirométeres mérések közelebb vittek a különböző növénykultúrák vízszükségletének a változásában mutatkozó törvényszerűségek megismeréséhez, korántsem tekinthetjük ezt az eljárást sem tökéletesnek.

A különböző növényállományok vízszükségletének tüzesebb tanulmányozására 1963-ban 4 db 4 m²-es, 1964-ben pedig további 6 db 5 m² -es evapotranspirométert helyeztünk el a kutatóállomás 180 - 200 m²-es parcelláinak középpontjában. Az evapotranspirométerben és a parcellákon azonos módszerekkel történt a növénytermesztés, csupán a vízellátásban volt eltérés. Az evapotranspirométerrel mért adatok értékelése előtt röviden ismertetjük az általunk használt mérőeszközt, annak működési elvét, a vízháztartási összetevőinek meghatározási módját, valamint értékeljük a mért adatok használhatóságát, különös tekintettel az oázis-hatás okozta hibák korrigálására. A különböző típusu evapotranspirométerek részletesebb leírása megtalálható a WMO Technical Note 83. füzetének 40 - 57. oldalán.

3.1.1.1. Az alkalmazott evapotranspirométer leírása és működése.

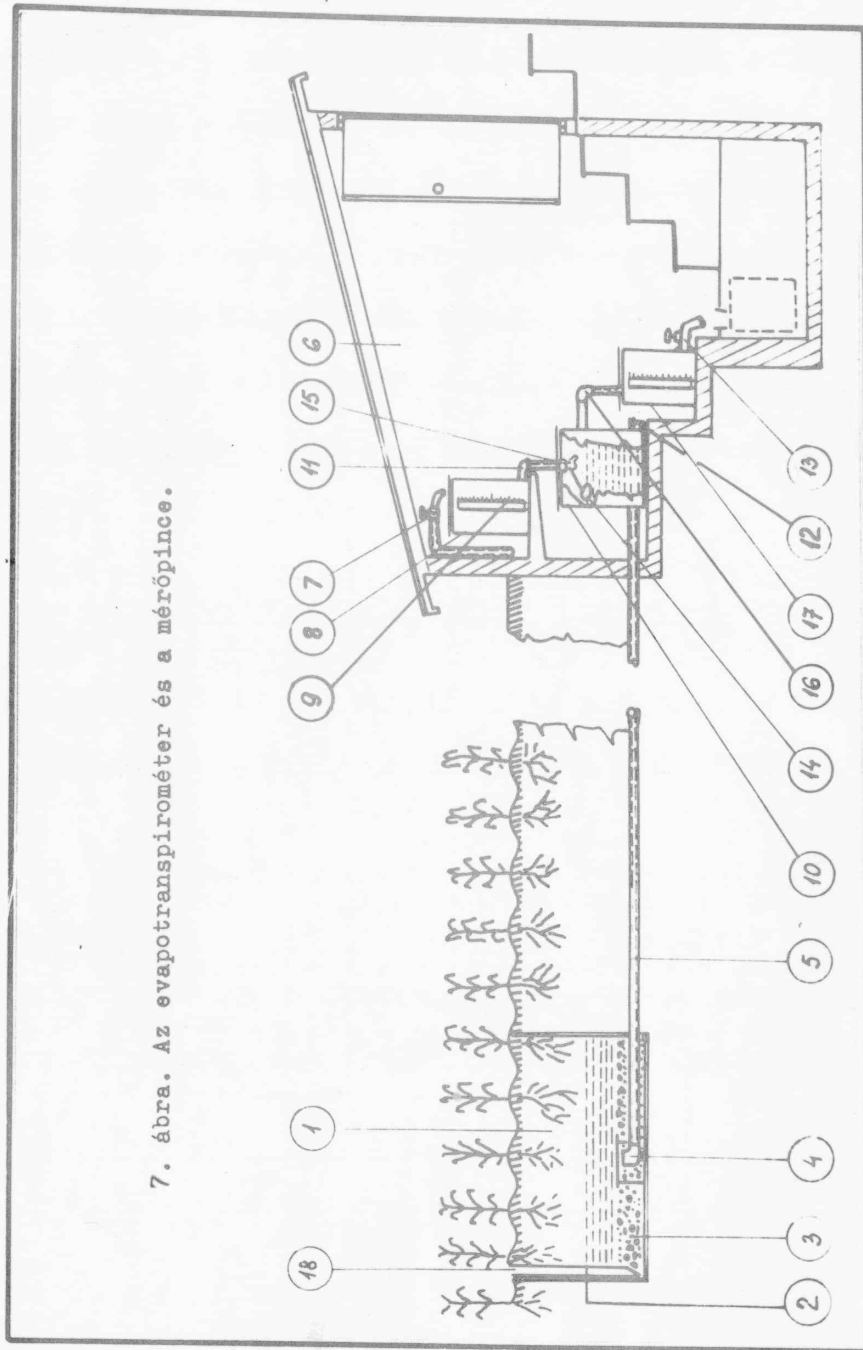
Evapotranspirométereink a kísérleti parcellában elhelyezett tenyészkádból, valamint a mérőpincében lévő kompenzációs berendezésből áll, amelyeket vízvezetékcső kapcsol össze /7. ábra/.

A kör alakú, 4 ill. 5 m²-es tenyészterületű, 0,7 m mély evapotranspirométerben /7. ábra 1-es jel/ a felszíntől 40 - 50 cm-re tartottuk a talajvízszintet /2/ vízszintszabályozóval /10/. Az 5 cm vastag kavicsréteg /3/ a szűrőszitával körülvett vízelosztón /4/ a tenyészedénybe kerülő vizet gyorsan és egyenletesen vezeti. A tenyészkádát 1 collos vízvezetékcső /5/ köti össze a mérőpincében /6/ elhelyezett kompenzátorral /10/. A kompenzációs edény függőleges irányban 30 cm-nyire mozgatható állványon /12/ helyezkedik el, ami lehetővé teszi, hogy a tenyészkádában a felszíntől 30 és 60 cm között változtassuk a talajvízszintet. A vízszintet az uszógolyóval /14/ ellátott pisztolycsap /15/ stabilizálja, amit gumicső /11/ köt össze a leolvasó skálával /9/ ellátott mérőedénnyel /8/. A tenyészedényből elpárolgott vizet csapon /7/ keresztül pótoljuk.

Csapadékhulláskor a leszivárgó esővíz megemeli a tenyészkádában és a kompenzációs edényben a víz szintjét. Az emelkedés mértéke azonban csak néhány mm lehet, mivel a túlfolyónyíláson /16/ át a gyűjtőedénybe /17/ folyik. Leolvasás után a visszafolyt víz csapon /13/ át kiengedhető. A talajvízszint állandóságának ellenőrzésére a tenyészkádba ellenőrző csövet /18/ helyeztünk.

Az evapotranspiráció a vízszintet csökkenti a kádban és a kompenzációs edényben. A csökkenő vízszinttel süllyed

7. ábra. Az evapotranspirométer és a mérőpince.



az uszógolyó /14/, s megnyitja a pisztolycsapot /15/. A gumicsővel összekötött mérőedényből /8/ ekkor megindul a víz-utánpótlás a kompenzációs edénybe, majd onnan a tenyészkádba. Természetesen ez a folyamat igen lassu, mert a vízutánpótlás folyamatos, s gyakorlatilag a vízszint sem változik.

Az evapotranspiráció napi értékét a mérőedényen leolvasott fogyasztás és a tenyészkád talajának nedvességekészlet változása adja. A skálán leolvasott értéken kívül tehát figyelembe kell venni a csapadékot, az öntözővizet, a túlfolyást és a nedvességekészlet változást, vagyis az evapotranspirométer teljes vízháztartási mérlegét kell nyomon követnünk.

3.1.1.2. Az evapotranspirométer vízháztartási összetevőinek meghatározása.

Az evapotranspirométer vízháztartási mérlege szerint valamely két időpont között a tenyészkád nedvességekészletének változását a bevételek és a kiadások algebrai összege adja. Figyelembe véve az evapotranspirométerbe jutó és az onnan eltávozó vízmennyiségeket, a következő egyenlőségnek kell fennállnia:

$$/w_2 - w_1/ = /C + \bar{O} + F/ - /E + T_{eff}/ + V/. \quad /30/$$

Az evapotranspirométer számára bevételt jelent a csapadék /C/, az öntözés / \bar{O} / és a mérőedényből fogyasztott víz /F/. A bevételi források közül a harmatot elhanyagoljuk, felületi hozzáfolyással pedig nem kell számolnunk, mivel a kád pereme a talajból kiemelkedik.

Kiadásként az evaporációt $/E/$, a hatékony transpirációt $/T_{\text{eff}}/$ és a visszafolyást $/V/$ könyvelhetjük el. Lefolyás nem keletkezhet, mivel a tenyészkád pereme a benne lévő talajfelszínhez képest is kiemelkedik néhány cm-re.

Ha a talaj nedvességekészletének változását $w_2 - w_1 = \pm \Delta w$ formában jelöljük, továbbá, ha az evaporációt és a transpirációt $E + T_{\text{eff}} = ET_{\text{eff}}$ alakban írjuk, akkor a /30/-as egyenletet átrendezés után a következőképpen írhatjuk:

$$ET_{\text{eff}} = C + \ddot{O} + F - V \pm \Delta w.$$

/31/

Megjegyezzük, hogy amíg a C , az \ddot{O} és az F mindig pozitív előjelű /bevétel/, a V pedig mindig negatív /kiadás/, addig értelemszerűen a Δw csapadékhulláskor és öntözéskor pozitív, más napokon negatív előjelű.

Minthogy a vizháztartás egy-egy tényezője bizonyos napokon nulla, ezért a /31/-es formula sokkal egyszerűbb alakban használható a tényleges számítások során.

Kísérleteink során az evapotranspirométer vizháztartási összetevőit mértük, a Δw -t pedig számítottuk. Tekintsük át röviden a /31/-es formula tagjainak meghatározására alkalmazott mérési és számítási módszereket.

a./ Csapadék.

A tenyészedény területére hullott csapadék mennyiségként azt az összeget tekintettük, amelyet az állományon kívül, 1 m magasságban elhelyezett szabvány csapadékmérővel mértünk, naponta kétszer, reggel 7 és este 7 órakor. A növényzet által a csapadékból felfogott víz mennyiségét is bevételként tekintettük, vagyis nem különböztettük meg a

ténylegesen lehullott csapadékot a hatékony csapadéktól.

b./ Öntözőviz.

A kísérleti parcellákat időnként megöntöztük, hogy a tenyészkádban és a környezetében egyformán fejlődjék a növényzet. Így próbáltuk az oázis-hatást minimális szinten tartani. Az öntözőviz mennyiségét az öntözés időtartamából, intenzitásából és a terület nagyságából határoztuk meg, ellenőrzésképpen még csapadékmérőkkel is mértük. Az öntözést általában barázdásan végeztük, s csak ritkán folyamodtunk az esőztető berendezéshez. Az evapotranspirométert főképpenn locsolókannával öntöztük. Ez az eljárás hátrányai ellenére is a legalkalmasabb eljárásnak bizonyult, mivel lehetővé tette az öntözőviz tízed mm pontosságu meghatározását.

A parcellák rendszeres öntözése sem biztosította a növények azonos mértékű fejlődését. Az evapotranspirométer növényzete a folyamatos vizellátás következtében főleg a száraz és meleg esztendőkhöz képest kissé magasabb volt a környező parcellák növényzeténél. Legnagyobb eltérést 1963-ban tapasztaltuk, amikor is a kádban a kukorica közel 30 - 40 cm-rel nőtt környezetére fölé. Más esztendőkhöz képest legfeljebb 5 - 10 cm volt a magasságkülönbség.

c./ Vizfogyasztás.

Az evapotranspirométer talajának folyamatos nedvességellátását alulról biztosította a kapilláris vízemelés. Az evapotranspirációnak a talajvizből származó hányadát, amit vízfogyasztásnak nevezünk, a 7. ábrán korábban bemutatott

evapotranspirométer mérőedényén olvastuk le naponta kétszer. A vízszállításnak a rendszerben történő kb. fél napos késése miatt, valamint azért, hogy a bevételi ág mérésével összehangban legyünk, a reggel 7 órakor leolvasott vízfogyasztást -- ugyanugy, mint a csapadékot -- az előző napra írtuk. A napi vízfogyasztás tehát az esti és a másnap reggeli leolvasás összege.

A víz mintegy 10 m hosszú vízvezetékcsövön át jut a tenyészedénybe. Ez a hosszú út biztosítja, hogy a lassan áramló víz az evapotranspirométerig érve fölvegye a környező talaj hőmérsékletét. Következésképpen az alulról pórolt víz hőmérséklete nem lehet hatótényező a transpirációnál.

d./ Visszafolyás.

Tulifolyás az evapotranspirométerből a kompenzációs edényen át akkor keletkezett, ha a csapadék nagyobb volt, mint a tenyészlád talajának nedvességtartalma. Ez esetben a talaj teljes feltöltődése után a leszivárgó csapadékvíz elfolyik a gyűjtőedénybe. A visszafolyást mindig a csapadék-hullás napjára írtuk.

A kísérleti évek során néhányszor előfordult, hogy jelentékeny csapadék esetén a visszafolyás gyűjtő edény megtelt, majd tulcsorult a mérőpincébe. Ilyen napokon csak pótolni tudtuk az adatokat, ami természetesen bizonytalanná tette az e napokra számított evapotranspiráció összegét. Az ily módon javított adatok száma azonban nem éri el az összes eset fél százalékát sem. E hibák csak túlméretezett visszafolyás gyűjtő edények beállításával lennének elkerülhetők.

e./ A tenyészkád talajának nedvességekészlet változása.

Az ET_{eff} meghatározása során a tenyészkád talajának nedvességekészlet változását rendszerint nem veszik figyelembe. A vízháztartási egyenlet emiatt a dekádnál rövidebb időszakra pontatlan eredményekhez vezet. Bizonyos kutatásokhoz azonban nélkülözhetetlenek az evapotranspiráció napi adatai. Tudvalévő, hogy a tenyészkádak talajának nedvességekészlet-csökkenése adja az effektív evapotranspiráció napi összegének egy részét, ezért meghatározásával ugyanolyan részletesen kell foglalkoznunk, mint bármely más vízháztartási összetevővel.

A Δw pozitív értékei, vagyis a talajnedvességekészlet növekedése egyszerűen számítható a lehullott csapadék és a visszafolyás különbségeként. Nehezebb feladat a $-\Delta w$, vagyis a nedvességekészlet csökkenés számításba vétele. Napenkénti mérése talajminta vételével nem oldható meg, mivel a tenyészidő végére a számtalan mintavétel következtében erősen megcsappanna az evapotranspirométer talaja. A Δw mérést ezért számításokkal helyettesítjük.

Kísérleteink első éveiben az arányos csökkentést alkalmaztuk. Az eljárás abban állt, hogy kiválasztottuk a két visszafolyás közötti természetes időszakokat. Ekkor, a periódus első és utolsó napján a nagy csapadék következtében vízkapacitásig volt telítve a tenyészkád talaja. Megállapítottuk, hogy a periódus végén lehullott csapadékból mennyi maradt az evapotranspirométerben. Ezt az összeget az időszak napjaira arányosan szétosztottuk. A módszer alapvető hibája, hogy a szétosztás mértékét önkényesen határoztuk meg, függetlenül az időjárási viszonyok alakulásától. Az eljárás al-

kalmatlansága különösen a csapadékos periódusokban tűnt ki, mert a hibás számítás következtében ilyenkor az ET_{eff} napokon át közel azonosnak adódott, holott a párolgásmérőkéadakkal egész változatos napi értékeket mértünk. Ez az ellentmondás hívta fel figyelmünket arra, hogy a Δw naponkénti értékeinek meghatározásához a fenti eljárásnál jobb módszer szükséges.

Minthogy a talajnedvesség csökkenése arányos a mindenkori időjárási viszonyokkal és a talaj tényleges nedvességtartalmával, felírhatjuk a következő összefüggést:

$$-\Delta w = c ET_p, \quad /32/$$

ahol a negatív előjel a talajnedvesség csökkenésére utal, az ET_p az időjárási viszonyoknak a párolgásra gyakorolt hatását tükrözi, a c pedig a talaj fajtajának, nedvességtartalmának és a növény biológiai sajátosságainak a hatását jelzi. A c együtthatót úgy kell megválasztanunk, hogy a vízkapacitásig telített talaj esetén a $c = 1$, maximális kiszáradáskor pedig a $c = 0$ egyenlőség álljon fenn. Az előbbi feltételnél a talajnedvesség csökkenése eléri a potenciális párolgás mértékét, míg az utóbbi feltétel teljesülése esetén nincs talajnedvességkészlet csökkenés. A közbülső talajnedvesség értékeknél a c 0 és 1 közötti nagyságu lehet, miközben a vízkapacitásnyi talajnedvességtől a maximális kiszáradás felé haladva fokozatosan csökken. E feltételnek többek között eleget tesz a következő nagyon egyszerű lineáris hán-
dos:

$$c = \frac{H_m - H_t}{H_m}, \quad /33/$$

ahol H_m az evapotranspirométer felső 30 cm vastag talajrétegében lehetséges maximális, H_t pedig a tényleges vízhiány. Megjegyezzük, hogy még számtalan nem lineáris összefüggést is választhattunk volna, a könnyű számolás érdekében azonban a legegyszerűbbet, a lineárisat találtuk alkalmasnak. Míg a H_t értékeit a vízháztartási iv folyamatos vezetése útján kapjuk, addig a H_m -et mérésekkel és számításokkal határoztuk meg.

Méréseink szerint evapotranspirométereink a felső 40 cm-es talajrétegben szántóföldi vízkapacitás esetén 149 mm-t tárolt, míg a legszárazabb időszakban átlagosan 119 mm-t. A maximális vízhiány tehát mintegy 30 mm. Fejlett növényzet esetén azonban elérte a 36 mm-t, míg növényzet hiányában csak 26 mm volt a legnagyobb vízhiány. A kapilláris vízvezetőképesség tehát nem biztosította az állandó vízkapacitásnyi nedvességet. A megfelelő levegőarány biztosítása érdekében ez nem is lehet cél. Méréseink részeredményeit 14. táblázatunk tartalmazza.

14. táblázat. Az evapotranspirométer talajának vízhiány-jellemzői több növénykulturára átlagolva.

réteg cm	VK mm	W_m mm	W_a mm	H_m mm	H_a mm
0 - 5	16	6	9	10	7
5 - 10	17	9	13	8	4
10 - 20	37	30	34	7	3
20 - 30	39	34	36	5	3
30 - 40	40	40	40	0	0
0 - 40	149	119	132	30	17

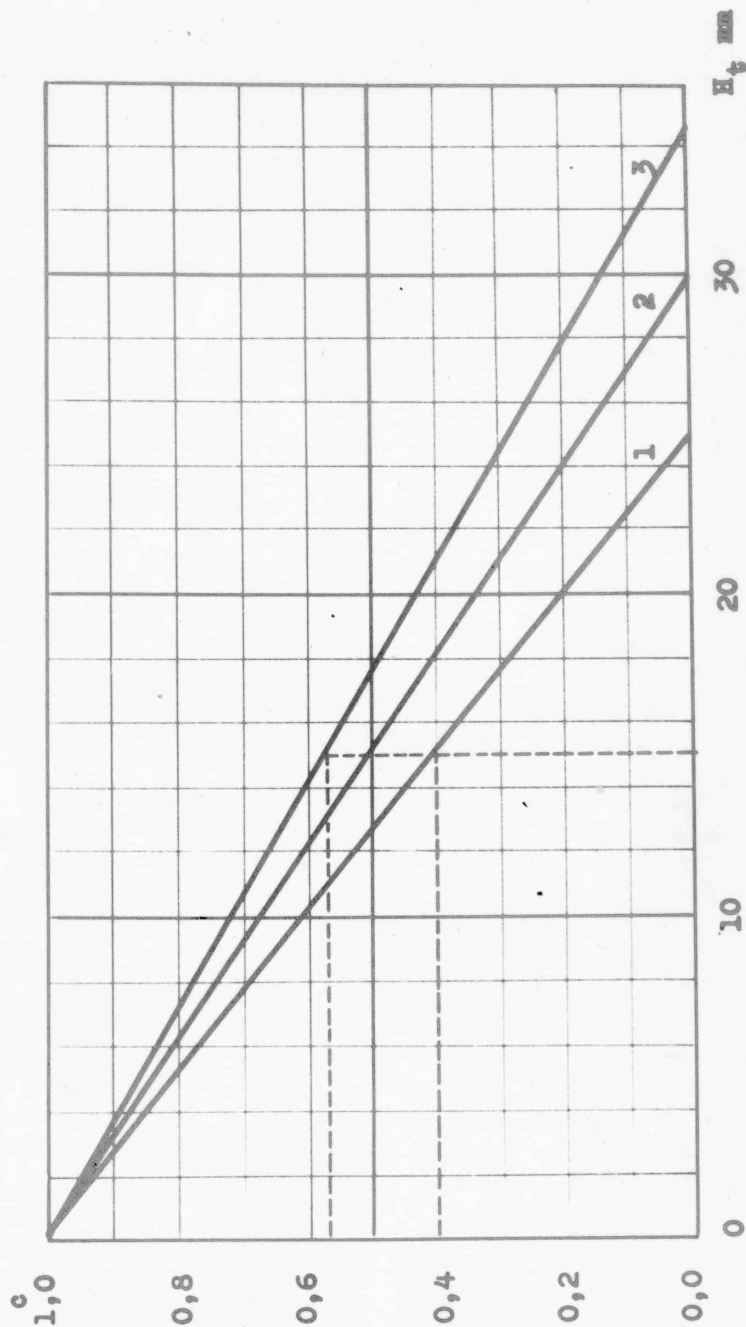
A vízkapacitáson kívül közöljük a több növényfajra átlagolt maximális és átlagos nedvességkészletet, valamint a

maximális és átlagos vízhiányt is. A táblázatban bemutatottakhoz hasonló eredményekre jutottunk a lehullott csapadék és a visszafolyás figyelembevételével is. Két hetes csapadékmentes időszak után -- amikor a talaj maximálisan kiszáradhatott -- az evapotranspirométerből általában csak akkor folyt vissza víz, amikor a lehullott csapadék elérte a 30 - 32 mm-t. A talajnedvességmérések útján kapott 30 mm-rel szemben a természetes kontroll alapján tehát 2 mm-rel nagyobb maximális vízhiányt kaptunk. A H_m azonban ez esetben is 30 mm-nek vehető, ha feltételezzük, hogy a két különböző módszerrel számított érték közötti 2 mm-es csapadékot felfoghatta a növény szára és levélzete. Minthogy a méréseket lucerna, kukorica, burgonya és cukorrépa állományban végeztük, a 2 mm-nyi vízmennyiséget e növények interszepciójának /csapadékfelfogásának/ tekinthetjük.

Kapás növényeknél a vetés utáni egy hónapban 20 - 25, a második hónapban 28 - 30, míg a tenyészidő további szakaszában -- zárt állomány esetén -- 34 - 37 mm körüli maximális talajnedvesség hiányt kaptunk. Lucernánál a vegetáció megindulását és a kaszálásokat követő két hétben 27 - 31, míg ettől az időtől a következő kaszálásig 33 - 37 mm hiányt mértünk. Gabonánál áprilisban 26 - 29, májusban - júniusban pedig 32 - 36 mm-es értékek adódtak. Amint látható, az adatokat a 25, 30 és 35 mm-es átlaggal jellemezhetjük. A mérések eredményeit általánosítva a 8. ábrán közöljük, ahol a szarvasi kötött talajra mutatjuk be a c együttható változását a talajnedvességhiány $/H_t/$ és a növényzet életszakaszának függvényében /1-es, 2-es, 3-as görbe/.

A görbékről leolvashatók az adott talajnedvességhiányhoz tartozó c értékek. A grafikon használata előtt azonban

8. ábra. A c változása kötött talajon a talajnedvességhány H_t / és a növény életkora, ill. faja / 1 - 2 - 3 görbe / függvényében.



a növényt be kell sorolni az alábbi kategóriák valamelyikébe:

1-es görbe: csupasz talaj és kapásnövény az első 30 napban

2-es görbe: lucerna és gabona áprilisban, kapás növények a kelés utáni második hónapban, lucerna a kaszálást követő két hétben

3-as görbe: kapások a második hónap végétől a tenyészidő végéig, kalászosok május elejétől érésig, lucerna a kaszálást követő második hét végétől a következő kaszálásig.

A 8. ábrán jól látható a növény életkorának hatása a talajnedvesség felhasználására. A 30 napnál fiatalabb kukorica pl. 15 mm-es nedvességhiány esetén a potenciális evapotranspiráció 40, két hónapos korban 50, kifejezett állapotban pedig 57 %-át fedezte a tenyészidő talajnedvességéből. Mint-hogy mindhárom esetet azonos vízhiányértékre számítottuk, a talajnedvességkészlet hasznosításában mutatkozó eltéréseket csakis a gyökérzet fejlettségében lévő különbségekkel, az eltérő koru növények más-más biológiai sajátosságaival magyarázhatjuk.

A talajnedvességkészlet csökkenésének meghatározásához a c értékén kívül szükség van még az ET_p napi adatokra is, amelynek számítási módszerét korábban már megadtuk. A Δw ezek után a /32/-es egyenlettel egyszerűen számítható.

A Δw meghatározásához végzett talajnedvesség mérések és számítások lehetővé tették, hogy megvizsgáljuk az evapotranspirométer által biztosított nedvességi viszonyokat is. Eredményeinket és következtetéseinket burgonyára mutatjuk be, de hasonló megállapítások érvényesek a többi növényfajra is. A 15. táblázat adatai szerint az evapotranspirométer 40 cm-es talajrétegének vízkapacitása 149 mm, holtviztartalma 74 mm, hasznos /diszponibilis/ vízkészlete 75 mm. A legszárazabb időszakban a minimális talajnedvességkészlet w_{min}

113 mm, így a szántóföldi vízkapacitásnak csak 75 %-áig csökkent a nedvességtartalma e szélsőséges esetben is. Átlagosan azonban 88 % volt az evapotranspirométer 40 cm-es talajrétegének vízkészlete.

15. táblázat. Az evapotranspirométer nedvességtartalma átlagosan és szélsőségesen.

réteg cm	VK mm	HV mm	DV mm	V _á		V _{min}	
				mm	VK %	mm	VK %
0 - 5	16	9	7	9	56	6	38
5 - 10	17	10	7	13	77	9	53
10 - 20	37	19	18	34	92	28	75
20 - 30	39	18	21	36	93	32	82
30 - 40	40	18	22	40	100	38	95
0 - 40	149	74	75	132	88	113	75

A bemutatott adatokból kitűnik, hogy a növény vizigényét a tenyészkád vizellátása kielégíthette. Fl. a burgonya talajnedvességtartásának vizsgálata terén hasonló eredményekre jutott számos kutató. Avrigenau /1960/ a 65 - 70 %-os nedvességtartalmat /a vízkapacitás %-ában/ tartja optimálisnak a burgonya számára, a kedvező érték alsó határának pedig az 55 - 60 %-os értéket állapította meg. Iljin /1963/ szerint aszályos években 75 % az alsó határ, ám kedvezőbb időjárási viszonyok között 65 %-ig is csökkenhet a nedvességtartalma a növények károsodása nélkül. Cihova /1961/ kutatásai alapján kiderült, hogy a talaj nedvességtartalmának a szántóföldi vízkapacitás 70 %-a alá süllyedése esetén a transpiráció megtorpan, s ennek eredményeképpen csökkent a termés. Albinet /1959/ akkor kapott nagy termést, ha a bur-

gonya talajának nedvességekészletét nem engedte a vízkapacitás 80 %-a alá csökkenni, bár kiváló volt a terméseredmény 65 %-os határnál alkalmazott öntözés esetén is. Hazai kutatások alapján Hajdu /1964, 1967/ 60 %-ban állapította meg a kedvező nedvességekészlet alsó határát, s szerinte a bimbózás után a talaj nedvességtartalmát ezen érték fölött kell tartani.

A 15. táblázat adatai szerint az evapotranspirométereink az említett százalékos értékeket mindig biztosították. A szélsőségesen száraz időszakban sem csökkent a talaj nedvességekészlete a vízkapacitás 75 %-a alá. Ez a nedvességtartalom minden fajtánál kielégíthette azt a követelményt, miszerint a talaj nedvességekészlete nem csökkenhet a kritikus érték alá.

A vízszint fölötti 40 cm vastag talajréteg vékonynak tűnik, ám a terméseredményekben a sekély talajréteg káros hatása nem mutatkozott. E szempontból megnyugtató Dubetz - Russel - Hill /1962/ vizsgálata, akik megállapították, hogy az öntözött burgonya a felső 30 cm-es talajrétegből elégíti ki vízszükségletének 50 %-át, a 60 cm-es rétegből pedig több, mint 75 %-át. Kísérleteink során az evapotranspirométerben tartott 20 - 30 cm-es talajviz esetén 40 - 50 cm vastag talajviz nélküli termőréteget biztosítottunk a növény számára.

A talaj nedvességekészletének változásával kapcsolatban elmondottakat összefoglalva megállapíthatjuk, hogy evapotranspirométereink biztosították a magas talajnedvességet, s a növények vizellátása bennük feltételezetten optimális volt. A magas terméseredmények /ld. későbbi táblázat/ azt is bizonyítják, hogy a tenyészkád talajának nedvességtartalma huzamosabb ideig nem lehetett az "optimális szint felső határa" fölött sem. Éppen ezért, a mért effektív evapotranspiráció

alkalmas adat arra, hogy az oázis-hatás okozta többletpárolgás levonása után optimális evapotranspirációként elfogadjuk.

f./ Az effektív evapotranspiráció.

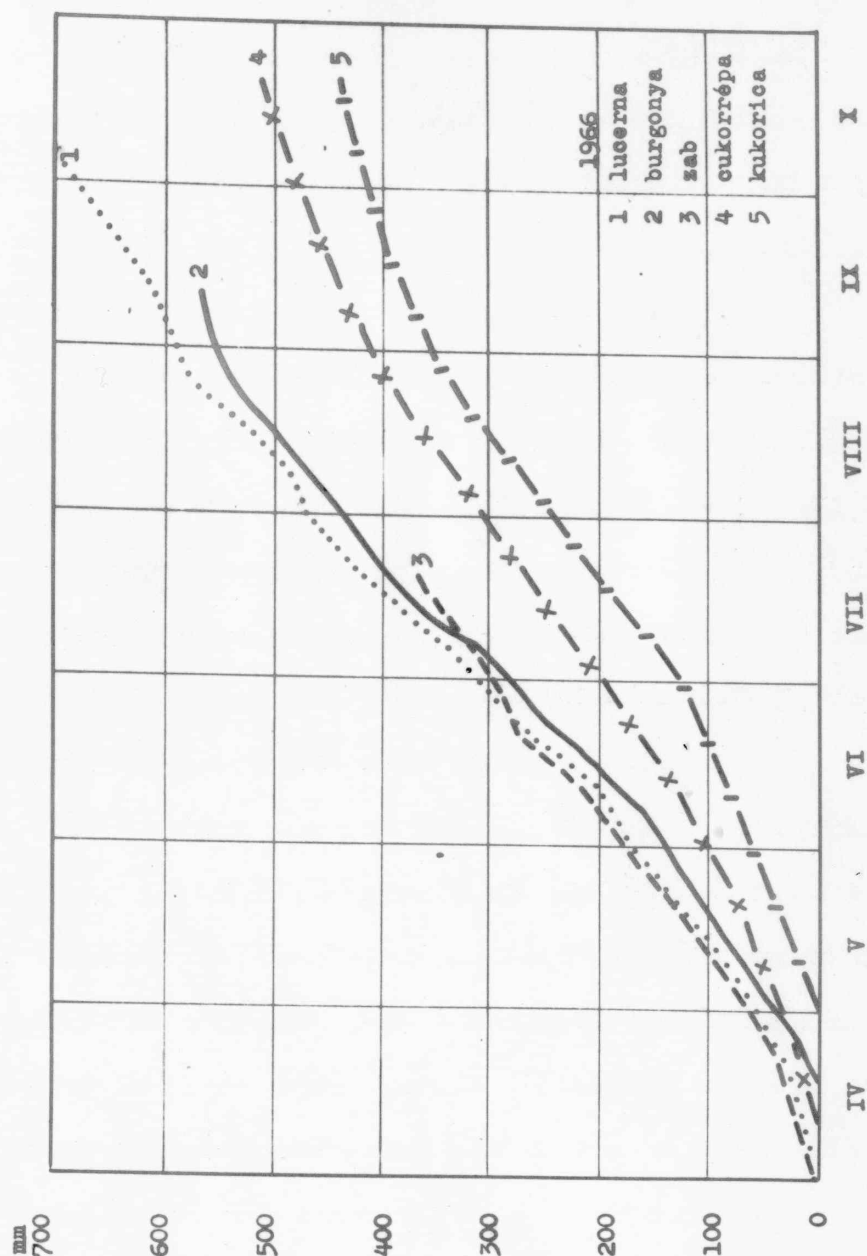
A talajnedvességekészlet változásának kivételével a /31/-es formula minden tagját mértük, így az effektív evapotranspirációt maradék tagként számíthattuk. A Δw naponkénti értékeinek kiszámítására alkalmazott új eljárás is tartalmaz bizonyos feltételezéseket, nevezetesen, hogy a talajnedvesség a párolgással lineárisan csökken, s így természetesen bizonyos időbeli eltolódás lehet az effektív evapotranspiráció napi összegeiben is. Az effektív evapotranspiráció valódi napi összege egyaránt lehet kisebb, vagy nagyobb, mint az általunk számított érték, ám a két visszafolyás közötti időszak összege már nem tartalmaz hibát. Éppen ezért, vizsgálataink során a napi adatokat csak a korreláció számításokhoz használtuk. Egyéb következtetésekhez inkább a pentád, de méginkább a dekád és a havi összegeket vettük figyelembe.

Az 1963 - 1967. közötti időszakban mért effektív evapotranspiráció havi és tenyészidőszakbeli összegeit 16. táblázatunkban foglaltuk össze. A táblázatban közölt adatok képezik az optimális evapotranspiráció számításának alapját. A havi összegek közül kitűnnek a lucerna, a kukorica és a kender 1963-ban és 1964-ben a nyári hónapokban észlelt értékei. Mint korábban említettük, e növényfajoknál érvényesült leginkább az oázis-hatás az 1963 - 1964-es aszályos, meleg tenyészidőszakban. Az evapotranspirométer növényzete nagymennyiségű vizet fogyasztott, mivel egyrészt a növények kiemelkedtek környezetükből, másrészt kicsi volt az öntözött környezet.

A táblázat adatai szerint megállapítható, hogy azonos növényfajtnál jelentősen különbözik a vízfogyasztás egyik évről a másikra. Minthogy a termesztési körülmények, a fajta, az állománysűrűség és a vízellátás minden évben azonos volt, az evapotranspirációban mutatkozó különbségek kétségek kívül a meteorológiai viszonyok változásának hatásából erednek. Ugyanakkor, a különböző növényfajok vízfogyasztásában számottevő eltérések vannak az azonos esztendőekben az eltérő biológiai sajátosságok következtében.

Az egyes növénykultúrák vízfogyasztásában mutatkozó különbségek még kirivóbbak, ha grafikusán tüntetjük föl az összegezett effektív evapotranspirációt. A 9. ábrán öt különböző növényállomány /lucerna, kukorica, burgonya, cukorrépa, őszi buza/ összegezett vízfogyasztási görbéit mutatjuk be az 1966-ban mért adatok alapján. Minthogy mindegyik növényállomány azonos meteorológiai viszonyok között élt ugyanazon a talajtípuson, sőt egyforma vízellátásban részesült, ezért a számottevő evapotranspirációs különbségek az eltérő sugárzás- és hőháztartásnak /más-más albedó, más-más sugárzáselnyelés az eltérő állománysűrűség miatt/, s az eltérő biológiai sajátosságoknak /különböző állománysűrűség, borítottság, magasság, levélfelület, eltérő fejlődési állapot ugyanazon időpontban/ köszönhetők.

A meteorológiai tényezők döntő hatását a vízszükséglet alakulására akkor láthatjuk világosan, ha az azonos vízellátásban részesített azonos növényfajta vízszükségletét hasonlítjuk össze az eltérő meteorológiai viszonyokkal rendelkező években. Erre a célra a kukoricát választottuk ki, mivel az 5 éves kísérleti időszakban mindegyik tenyészidőszakra rendelkezünk adatokkal. A kísérletet minden évben MV-1-

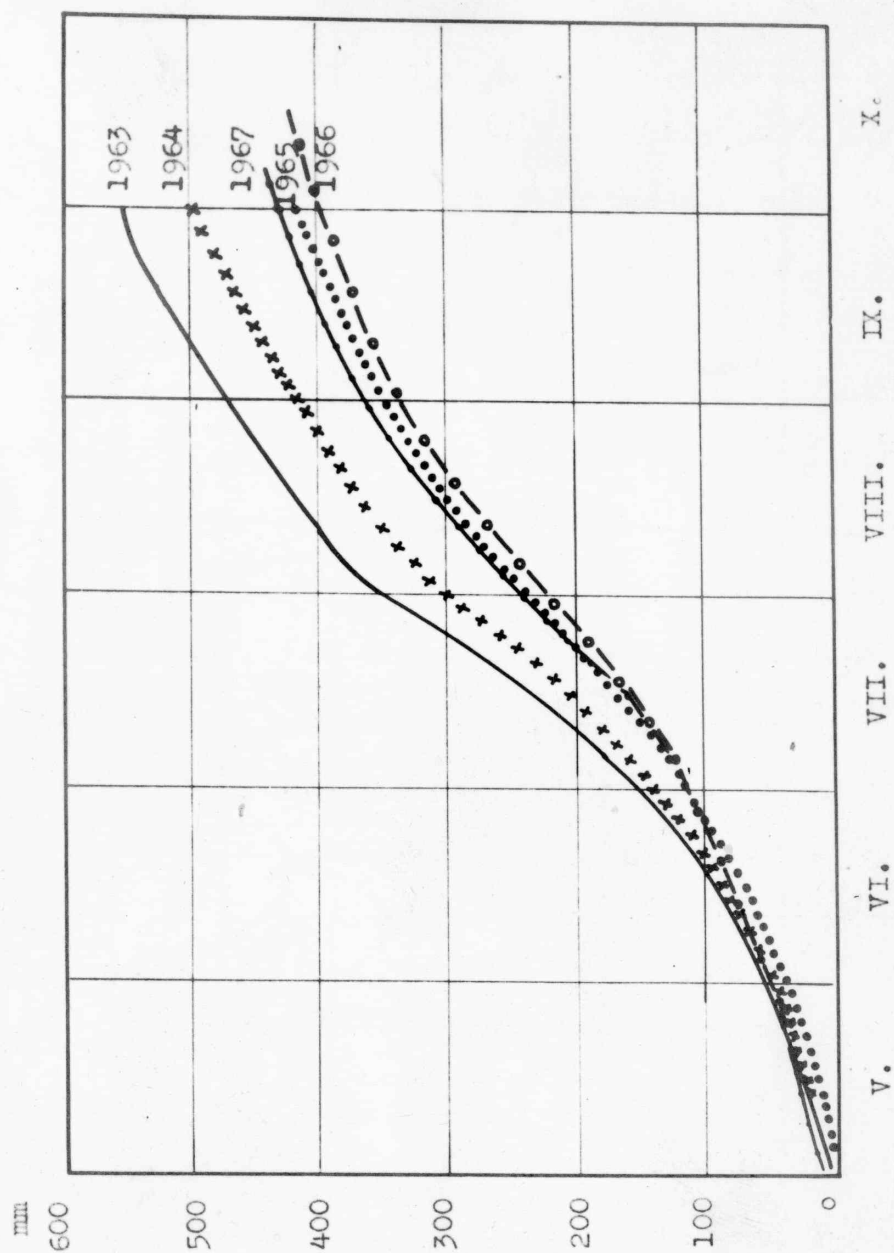


9. ábra. A különböző növényállományok összegezett effektív evapotranspirációja 1966-ban.

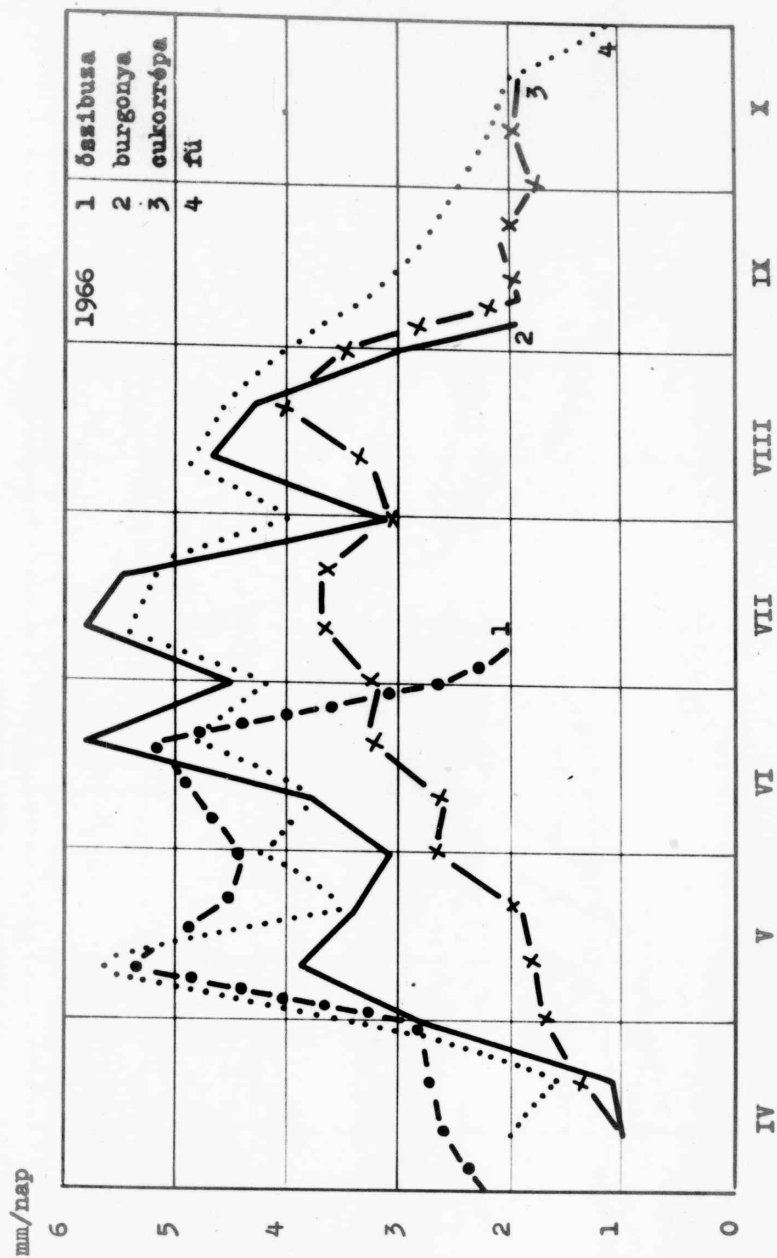
es hibriddel végeztük. A talajművelés, a tápanyag visszapótlás, a vetéssűrűség, a növényápolás és a vizellátás is azonos volt mind az öt tenyészidőszakban, csupán a meteorológiai viszonyok változtak évről-évre. A vízszükségletet jellemző effektív evapotranspiráció összeggörbéit a 10. ábrán mutatjuk be az 1963 - 1967-es periódus minden tenyészidőszakára. A görbék alapján megállapítható, hogy a vízszükséglet évenkénti változékonyságát jelentős mértékben befolyásolják a meteorológiai tényezők.

Az elmondottakat méginkább alátámasztják a 11. ábrán látható görbék, amelyek a különböző növényállományok napi vízfogyasztásának változását mutatják be a tenyészidő folyamán azonos meteorológiai viszonyok között, ill. a 12. ábra görbéi, amelyek egyetlen növényfajta /kukorica MV-1/ naponkénti effektív evapotranspirációjának alakulását tüntették fel a különböző években.

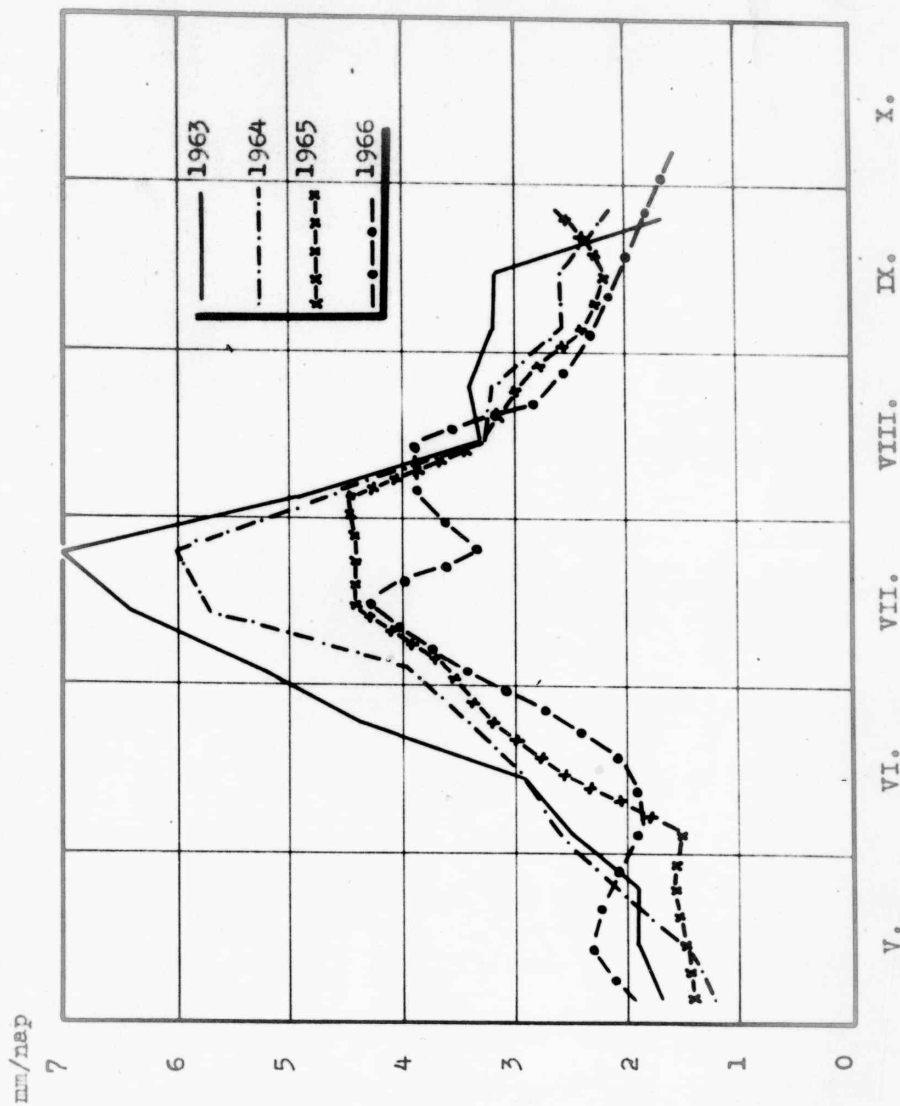
A 11. ábra alapján megállapítható, hogy a fajta és a fejlődési fázis döntő szerepet játszik a vízszükséglet napi értékének változásában a tenyészidőszak folyamán. Az effektív evapotranspiráció maximális értéke minden növényfajtnál más, és beállásának időpontja egybeesik a fejlődés kritikus időszakával, rendszerint a virágzás idejével. Ez-
zel szemben a 12. ábra azt bizonyítja, hogy adott növényállomány vízszükségletének napi értéke minden évben másként alakul, attól függően, hogy a párolgást meghatározó meteorológiai tényezők az évek során hogyan változnak. A kukoricaállomány pl. 1963. meleg, száraz nyarán mintegy 7 mm, 1965. és 1966. csapadékos tenyészidőszakában viszont csak 4 mm körüli napi vízszükséglettel jelentkezett a virágzás időszakában. Az eltérés számottevő, ami véleményünk szerint



10. ábra. A kukorica összegezett effektív evapotranspirációja a különböző években.



11. ábra. A különböző növényállományok napi vízszükségletének változása a tenyésztidőszakban, 1966-ban.



12. ábra. A kukorica napi vízszükségletének változása a tenyészidőszak folyamán a különböző években.

kizárólag a meteorológiai viszonyokban tapasztalt nagyfokú változásoknak tulajdonítható. Ugyanis minden más hatótényező azonos volt minden esztendőben. Ezen feltevésünket alátámasztották azon kutatási eredményeink is, amelyek annak tisztázására irányultak, hogy milyen kapcsolat van az egyes fejlődési fázisokban a vízszükséglet és a főbb meteorológiai tényezők között. Erre vonatkozó eredményeinket a 6. táblázatban mutattuk be.

Mint említettük az effektív evapotranspiráció nem minden esetben tekinthető optimális evapotranspirációnak, mivel az evapotranspirométereket a nagyüzemi viszonyokat jellemző 20 - 30 kh-as öntözött táblák helyett mindössze 200 m²-es parcellákban helyeztük el. Adataink ezért korrekcióra szorulnak.

3.1.1.3. A mért effektív evapotranspiráció javítása.

Az evapotranspirométerrel mért adatok értékelésénél fölvetődik a kérdés, hogy azokon a napokon, amikor létezik oázis-hatás, mennyi a többlet párolgás?

A kérdés tisztázásához gyakran a növényállomány sugárzási egyenlegét veszik kiindulási alapként. Nagy területen az evapotranspiráció ugyanis nem lehet több, mint a sugárzási egyenleg 85 - 95 %-a. Ha az evapotranspirométerben a párolgás ennél több hőenergiát fogyaszt, akkor a többletet a mikroadvekciónak tulajdonítják. Feltételezik, hogy kiterjedt növényállomány esetén a mikroadvekció útján szállított hőmennyiség elhanyagolható a sugárzási energiához képest. Ennek értelmében azokon a napokon, amikor az effektív evapotranspiráció energia értéke nagyobb, mint a sugárzási egyenleg 85 - 90 %-a, a többletet levonják, s a továbbiakban ezt

a redukált értéket tekintik a növényállomány vízszükségletének. Az eljárás alkalmazását nehezíti, hogy a sugárzási egyenleg nemcsak növénykulturánként és fejlődési fázisonként változik, hanem az öntözés hatására is. Budüko /1956/ szerint az öntözött növényállomány sugárzási egyenlege 15 - 25 %-kal is megnövekedhet az öntözetlenhez képest, éppen ezért a 85 - 95 %-os felső határt 100 %-nak is vehetnénk.

Sutton /1949/ olyan összefüggést dolgozott ki, amely lehetővé teszi annak megállapítását, hogy milyen kiterjedésű legyen a nedvesen tartott felszín. A terület mérete \underline{x} az alábbi egyenletből számítható ki megfelelő átrendezés után:

$$ET = F / E - e / u_1^{\frac{2-n}{2+n}} \cdot \bar{u}_+^{\frac{2n}{2+n}} \cdot z_0^{\frac{-n}{2+n}} \cdot x^{\frac{-n}{2+n}}, \quad /34/$$

ahol az \underline{F} konstans, \underline{E} és \underline{e} a telítési és a tényleges párapomás, \underline{u}_1 a szélesebbesség, \underline{u}_+ a surlódási sebesség, \underline{z}_0 az érdességi paraméter, \underline{x} a nedves környezet szélétől mért távolság, \underline{n} a szélesebbesség magasság szerinti változását jellemző paraméter /Sutton szerint 0,25/. A párolgás változása kis \underline{x} értékeknél igen nagy, de pl. 100 m-ről 200 m-re növekedésekor már alig nagyobb, mint a csapadék és az öntözővíz mérésének pontossága.

Máltán, öntözetlen környezetben 1957. június - augusztusában az állandóan nedves talaju füves evapotranspirométerből 1095 mm párolgott, míg egy közelben elhelyezett, de 6 méteres körzetben rendszeresen öntözött tenyészkádból csak 731 mm /Green, 1959/.

Bimern /1964/ Nyugatnémetország maritim éghajlatán nem tartotta szükségesnek a korrekciót. A mért adatokat azon-

ban minden évben ellátta javító tényezővel, mivel a mért értékek évről-évre csökkenő tendenciát mutattak. A további kutatáshoz a redukált értékeket használta.

A Szovjetunióban Jakovleva /1952/ módszere terjedt el annak megállapítására, hogy a terület mérete hogyan hat a párolgás intenzitására. Ez a módszer szolgált Budükö, Jugyin és Jakovleva /1954/ eljárásának alapjául is, akik az öntözött terület mérete és a párolgás intenzitása között kerestek összefüggést. Konsztantyinov és Harcsenkó /1956/ grafikus módszer adott a párolgás intenzitásának megbecslésére az öntözött terület kiterjedésének függvényében.

Konsztantyinov /1966/ újabb grafikus módszerével megbecsülhetjük, hogy adatainkat mekkora oázis-hatás terheli. Hazánkban egy-egy öntözött tábla 15 - 25 kh, ezért célszerűnek látszik evapotranspirométeres adatainkat 20 kh-nyi területre vonatkoztatni. Attól függően, hogy mekkora környezetet öntöztünk, négy esetre becsülhetjük meg az oázis-hatás okozta hiba számszerű értékét.

1./ Ha a környezetet egyáltalán nem öntöztük, akkor száraz időszakban az evapotranspirométerek többlet párolgása a 20 kh-nyi öntözött területhez képest Konsztantyinov grafikonjai alapján 22 %.

2./ Ha a tenyészkádat körülvevő 200 m²-es parcellát öntöztük, 12 %-kal nagyobb az evapotranspiráció.

3./ Ha az egész kísérleti területet öntöztük /kb. 4 ezer m²/, akkor 4 % az evapotranspirométer és az optimálisan öntözött tábla vízfogyasztása közötti különbség.

4./ Csapadékhullás utáni napokon, ill. tavasszal, amikor vízkapacitásáig telített a talaj, nincs különbség az effektív evapotranspiráció és a valódi vízszükséglet között.

Hasonló eljárást alkalmaz Stanhill /1965/ is. Kísérleteit Közel-Keleten végezte úgy, hogy az uralkodó szél irányában, az öntözött területen különböző távolságban mérte az evapotranspirációt. A kapott eredményeket grafikusán ábrázolta a távolság függvényében. Megállapította, hogy 50 m-ig számottevő a hatás, 200 m-en túl a párolgás már kevésbé változik, mint ahogy azt Green /1958/ is állítja, a Sutton formulával kapott eredmények alapján.

Az öntözött terület méretétől függő párolgás csökkenést a következőkkel magyarázhatjuk. Az öntözött növényállomány fölött a fokozott evapotranspiráció miatt az átáramló levegőnek növekszik az abszolút nedvessége, s csökken a felszín hőmérséklete, aminek következményeként a fölötte áramló levegő lehül. A két tényező csökkenti a levegő párafelvevő képességét /telítési hiányát/, ami az evapotranspiráció megtorpanását idézi elő. Másrészt az érdes növényállomány fölött áthaladó levegő áramlása lelassul, s a szél irányában haladva csökken az evapotranspiráció. Az oázis-hatás annál nagyobb, minél kisebb az öntözött terület, s mennél nagyobb az állomány érdessége. Az 1963 - 1964. évi meleg, száraz tenyészidőben a 17. táblázat tanúsága szerint a lucerna-, a kukorica- és a kenderállomány -- lévén más-más magasságu és sűrűségű állomány -- evapotranspirációját eltérő oázis-hatás jellemezte. A lucerna a nyári hónapokban 32, a kukorica 30, a kender pedig 65 %-kal párologtatott többet, mint a lehetséges evapotranspiráció.

A táblázat adatai is igazolják, hogy az evapotranspirométerrel mért effektív evapotranspiráció csakis akkor tekinthető az adott növényállomány tényleges vízszükségletének, ha

- 1./ nem mutatható ki óázis-hatás, ugyanakkor az evapotranspirométerben a terméseredmény nagyobb, mint az öntözetlen területen,
- 2./ az óázis-hatással terhelt adatokat -- kellő fizikai és biológiai feltételek alapján -- ésszerű nagyságu öntözött területre vonatkoztatjuk.

17. táblázat. Az evapotranspirométerrel mért adatok összehasonlítása az ET_p számított értékeivel, különböző érdességű növényállományokra.

		VI	VII	VIII	VI-VIII
lucerna, 1964	ET_p	165	184	152	501
	ET_{eff}	204	227	233	664
	$\Delta\%$	24	23	53	32
kukorica 1963	ET_p	-	192	159	351
	ET_{eff}	-	241	217	458
	$\Delta\%$	-	25	36	30
kender 1964	ET_p	165	184	152	501
	ET_{eff}	250	365	213	828
	$\Delta\%$	52	98	41	65

Az effektív evapotranspiráció redukálásához az energiamegmaradás törvényét vettük alapul, miszerint a kiterjedt növényállomány optimális evapotranspirációjára fordított energia nem lehet nagyobb, mint a potenciális evapotranspirációra fordított energia. Ez tehát azt jelenti, hogy az adott növénykultúra vízszükséglete általában nem mulhatja felül a potenciális evapotranspirációt.

Az effektív evapotranspiráció korrigálását ezen elv alapján hajtottuk végre minden évben és minden növényfajta-ra.

A /19/-es formulával mindenekelőtt kiszámítottuk a potenciális evapotranspiráció napi értékeit, majd összehasonlítottuk azokat az effektív evapotranspirációval. Ha ez utóbbi az oázis-hatás következtében nagyobb volt a lehetséges párolgásnál, az előbbi adatot az utóbbira redukáltuk. A mért és a redukált havi összegeket a 18. táblázatban mutatjuk be burgonyára. Hasonló módon jártunk el a többi kísérleti növénynél is.

18. táblázat. A burgonyaállomány mért ET_{eff} és redukált ET_r evapotranspirációja, vetéstől betakarításig.

		IV	V	VI	VII	VIII	IX	vetéstől betakarításig
1964	ET_{eff}	11	77	162	131	70	3	454
	ET_r	11	77	149	129	69	3	438
1965	ET_{eff}	46	55	108	135	74	3	421
	ET_r	46	55	98	112	73	3	387
1966	ET_{eff}	40	107	141	145	124	9	566
	ET_r	40	99	124	135	118	9	525
1967	ET_{eff}	21	61	131	190	72	8	483
	ET_r	21	61	122	181	72	8	465
átl.	ET_{eff}	30	75	135	150	85	6	481
	ET_r	30	73	123	139	83	6	454
$\Delta = ET_{eff} - ET_r$	mm	0	2	12	11	2	0	27
Δ	%	0	3	9	7	2	0	6

A négy év átlagában a vetéstől a betakarításig terjedő tenyészidő folyamán mért 481 mm-rel szemben a redukált érték 454 mm, vagyis az oázis-hatás következtében a burgonya effektív evapotranspirációja átlagosan 6 % -kal több a

tényleges vízszükségleténél. Csupán júniusban és júliusban multa felül az evapotranspirométerrel elérhető mérés pontosságát. A mérés hibaforrásait Erdős /1967/ hét pontba foglalta.

Mielőtt a redukált értékeket vízszükségletként tekintőnk, a terméseredmények szempontjából is értékelnünk kell az evapotranspirációs adatokat. Erre a célra is a burgonya adatait közöljük a 19. táblázatban.

A jó vizellátás következtében a kádban minden évben kimagasló terméseredményt kaptunk, a négy év átlagában 90 %-kal többet, mint az időnként ugyancsak öntözött, környező parcellán. A 78 cm-es átlagos növénymagasság pedig jól fejlett növényzetről és bőséges asszimilációs felületről tanuskodik. Az evapotranspirométer terméséből és az effektív evapotranspiráció értékéből számított vízfogyasztási együttható /az 1 kg termés előállításához felhasznált vízmennyiség, l/kg egységben/ minden évben felülmulta a parcellára kapott értékeket mindegyik növényfajtánál. A redukált evapotranspirációs adatokat tehát jogosan tekinthetjük a növényállomány vízszükségletének, ill. optimális evapotranspirációjának.

A burgonyára bemutatott redukációs módszert alkalmaztuk a többi kísérleti növényfajtának /MV-1-es kukorica, szarvasi kékvirágú lucerna, beta-poli-2 cukorrépa, bezosztája őszi buza, őszi árpa, tavaszi árpa, zab, kender, silókukorica, rétipерjé-angolperje-lódihere füves keverék/ az optimális evapotranspirációja meghatározására is.

Az effektív evapotranspirációt leginkább 1963-ban és 1964-ben, az aszályos nyári hónapokban kellett csökkenteni, valamint 1967. július, augusztusában. Az 1965-1966-os csapadékos években az alkalmazott korrekció mértéke jelentéktelen volt. Az adatokat, a kevés javítás ellenére is, csak

19. táblázat. A középkezei érésű kisvárdai rózsa burgonya
fenológiai és fenometriai adatai 1964 - 1967. között.
Sor- és tőtávolság 62,5 x 40 cm.

év	vetés ideje	kelés ideje	virágzás kezdete	vége	főfejlődés vége	betakarítás ideje	vegetáció hossza napokban
1964	IV.16.	V.15.	VI.12.	VI.29.	VII.24.	IX. 2.	140
1965	IV. 1.	V. 5.	VI.13.	VII.3.	VII.30.	IX.2.	155
1966	IV.10.	V. 4.	VI. 5.	VI.29.	VII.20.	IX. 5.	149
1967	IV.16.	V.10.	VI. 8.	VII.5.	VII.25.	IX. 5.	142
átlag	IV.11.	V.9.	VI.10.	VII.2.	VII.25.	IX. 4.	147

év	a növény legnagyobb magassága	termés q/ha kásban	par- cellán	többlet termés q/ha	%	vizfogyasztási együttható 1/kg kásban	parcellán
1964	80	293	167	126	75	154	208
1965	80	370	201	169	84	113	160
1966	70	512	253	259	102	110	134
1967	80	390	203	187	92	124	170
átlag	78	391	206	185	90	125	164

akkor használhatjuk gyakorlati célokra, ha legalább négy-öt éves sorozattal rendelkezünk. Ebben az esetben már nagy a valószínűsége annak, hogy e rövid periódus átlagos meteorológiai viszonyai többé-kevésbé már jellemzik a sokévi átlagos viszonyokat. Értekezésünk megírásáig a kukoricára, a lucernára, a burgonyára és a cukorrépára vonatkozólag volt 4 - 5 éves adatsorunk, ezért a gyakorlat számára hasznosítható adatokat csak e növényekre közöljük.

3.1.2. Az optimális evapotranspiráció számítása.

A különböző növényállományok optimális evapotranspirá-

cióját fölösleges sok helyen mérni az éghajlat, a talaj és a termesztés számos lehetséges körülményei között. Ezek a vizsgálatok ugyanis költségesek, munkaigényesek és hosszú éveket vesznek igénybe, ezért kevés helyen végzett mérések alapján számítási módszereket célszerű kidolgozni, amelyek lehetővé teszik az általánosítást. Ez az út járható is, mivel az optimális evapotranspiráció szoros összefüggésben van bizonyos meteorológiai tényezőkkel/Cselőtei L., 1959; 1964/.

Az optimális evapotranspirációt olyan meteorológiai, ill. klimatológiai paraméterekből érdemes számítani, amelyek jellemzik a légkör párologtató képességét. Általában a potenciális evapotranspirációt tekintik legalkalmasabbnak, mivel kiszámításához csak meteorológiai adatok kellenek, s azok rendelkezésre állnak hosszú évtizedekre. Ugyanakkor az E_{Tp} szoros kapcsolatban van a növényállományok vízszükségletével.

Adott talajon és adott időjárási viszonyok mellett a nagy termés egyik fontos feltétele a növény vizigényének kielégítése. Ha a gyökérzóna nedvessége megközelíti a szántóföldi vizkapacitást, a növény kielégítheti vizigényét. A talajnedvesség csökkenésével a vizellátás romlik, s nagymértékben megnövekszik a vízfelvételre fordítandó energia.

A különböző növényfajoknál és az eltérő fejlődési fázisokban más-más talajnedvességtartalomnál csökken a szervesanyag felhalmozódása. A kielégítő fejlődést biztosító talajnedvesség legalsó határának a hervadáspont fölött kell lennie. Ezt az értéket rendszerint az optimális talajnedvesség alsó határának nevezik, amelynél a fejlődés még nem torpan meg. Ha a talajnedvességet a tenyészidőben ezen érték fölött tartjuk, az adott talaj és időjárási viszonyoknak megfelelő

maximális terméseredmény várható. A magas terméshozamot többek között a bőséges asszimiláció biztosítja, ami csak a sztómák hosszantartó nyitvatartásával érhető el, s ehhez viszont fokozott transpiráció párosul. Szükség esetén a transpirációt a sztómák záródása szabályozza, s eredményképpen csökken az asszimiláció és a növekedés.

A túl magas talajnedvesség is káros, mivel csökkenti a talaj levegőtartalmát. Azt a felső értéket, amelynél a vízellátás már nem kedvez a növény fejlődésének, az optimális talajnedvesség felső határának nevezik. Nyilvánvaló, hogy a maximális növekedés és fejlődés biztosításához a gyökérzóna nedvességtartalmát az optimális nedvesség alsó és felső határa között kell tartani majdnem az egész tenyészidőszakban.

A növényállomány vízszükségletét V_g külső $/K/$ és belső $/B/$ tényezők határozzák meg. Általános formában ezt az összefüggést a következőképpen jelölhetjük:

$$V_{sl} = f_1 /K, B/. \quad /35/$$

A külső tényezők közül elsősorban a meteorológiai viszonyokat $/M/$, az ugyancsak a meteorológiai tényezőktől függő talajnedvességet $/w/$, valamint a növényállomány sűrűségét $/S/$ sorolhatjuk, azaz

$$K = f_2 /M, w, S/. \quad /36/$$

A mesterséges beavatkozások egyrészt a növény biológiai sajátosságainak, másrészt a talaj nedvességének, vagy pedig a növényállomány klímájának megváltoztatására irányulnak, ezért ezek együttes hatását az alaptényezőkön keresztül vesszük fi-

gyelembé.

Belső tényezőkön a növény biológiai sajátosságait értjük, amelyek a vizigény változásán keresztül számottevő hatással vannak a vízszükséglet alakulására. A belső tényezőket meghatározó biológiai sajátosságok a növény fajától $/f_j/$ és fajtajától $/f_t/$, a fejlődés fázisától $/f_f/$, valamint a növény fejlettségétől $/h/$ függenek, vagyis

$$B = f_3 / f_j, f_t, f_f, h/. \quad /37/$$

A növényállomány vízszükségletét a külső és belső tényezők figyelembevételével tehát a következőképpen írhatjuk:

$$V_{s2} = f_4 / M, w, S, f_j, f_t, f_f, h/. \quad /38/$$

A mezőgazdasági növénykultúrák soktényezős kapcsolata a külső és belső faktorokkal rendkívül bonyolult, s nagyban megnehezíti a növényállomány vízszükségletének számszerű értékelését. Érthető tehát, hogy a kutatások elsősorban empirikus összefüggések feltárására irányulnak. Az egyenlet elméleti megoldása még nem ismeretes, ezért olyan mérőeljárásokat alkalmaznak, amelyek lehetővé teszik a /38/-as egyenletben összefoglalt változók nagyrésznének konstanssá tételét. Erre leginkább a kisparcellás és az evapotranspirométeres kísérletek a legalkalmasabbak.

A vízszükséglet a meteorológiai tényezők közül a potenciális evapotranspirációval arányosan változik, azaz:

$$V_{s3} = \text{III}_p f_5 / w, S, f_j, f_t, f_f, h/. \quad /39/$$

Az egyenletet tovább egyszerűsithetjük, ha a vizsgálatot közelítőleg állandó talajnedvesség mellett végezzük /kompensációs elven működő evapotranspirométerrel/, azaz $w = \text{const.}$, ha a kísérletben mindig ugyanazt a növényfajt $/f_j = \text{const.}/$ és fajtát $/f_t = \text{const.}/$ alkalmazzuk, miközben azonos tápanyagellátással és növényápolással minden időben kedvező feltételeket biztosítunk, vagyis ugyanazon fejlődési fázisban a különböző években a $h = \text{const.}$ E feltételek esetén adott növényállomány vízszükséglete az alábbi összefüggéssel számítható:

$$V_{s4} = ET_p k_1 f_6 / S, f_f /, \quad /40/$$

ahol k_1 a talajnedvességtartalmat, a növényfajt, a fajtát és az egyed fejlettségét tükröző tényező egy adott fejlődési fázisban. A formulát még tovább egyszerűsithetjük, ha az evapotranspirométerben minden évben azonos sor- és tőtávolságot biztosítunk $/S = \text{const.}/$. Ha az egyenletet adott fenológiai fázisra alkalmazzuk $/f_f = \text{const.}/$ --meghagyva a korábbi feltételeket --, formulánk a következő alakot ölti:

$$V_S = k ET_p. \quad /41/$$

Az egyenlet szerint valamely növényállomány vízszükséglete arányos a potenciális evapotranspirációval, s időbeli változása egy adott talajtipuson függ a k együtthatótól /növénykonstanstól/, vagyis a növény fajától, fajtajától, fejlődési fázisától és állapotától, valamint az állomány sűrűségétől. /Konsztantyinov, 1967; 1964/.

Felhasználva a /27/-es összefüggést, az optimális evapotranspiráció számítására a következő egyenletet kapjuk:

$$\boxed{ET_{opt} = k \cdot ET_p} \quad /42/$$

Az optimális és a potenciális evapotranspiráció ismeretében meghatározható a növénykonstans, amelynek ismeretében olyan területekre is kiszámíthatjuk a vízszükségletet, ahol az effektív evapotranspirációt nem mérjük, de rendelkezésünkre állnak az ET_p kiszámításához szükséges meteorológiai adatok.

3.1.3. A növénykonstans /vízszükségleti tényező/ meghatározása.

A potenciális evapotranspiráció és az evapotranspirométerek vízszükségletre átszámított adatai alapján először az egész tenyészidőszakra /vetéstől a betakarításig terjedő periódusra/ határoztuk meg a vízszükségleti együtthatót a következő összefüggéssel:

$$\boxed{k = \frac{ET_{opt}}{ET_p}} \quad /43/$$

Az 1964 - 1967-es időszakra számított k értékeket 20. táblázatunk tartalmazza. A vizsgálatokat négy különböző típusú növényállományra /takarményféléesség, magas kapás növény, alacsony kapás növény és gabona/ végeztük el. A táblázatban közöljük a potenciális és az optimális evapotranspiráció tenyészidőszakbeli értékeit, azok évenkénti változékonyságát a négy év átlagának százalékában, továbbá a k értékeit

és évenkénti ingadozását.

20. táblázat. Néhány növényállomány optimális evapotranspirációjának, a potenciális evapotranspirációnak és a növénykonstansnak a változása.

növényfaj	év	ET_{opt}		ET_p		növénykonstans	
		mm	%	mm	%	érték	%
lucerna	1964	782	107	841	104	0,93	102
	1965	652	90	699	87	0,93	102
	1966	683	94	780	97	0,87	96
	1967	793	108	895	111	0,88	97
	átlag	728	100	804	100	0,91	100
kukorica	1964	536	119	717	103	0,74	112
	1965	402	90	588	85	0,68	103
	1966	411	92	711	102	0,58	88
	1967	441	99	761	109	0,58	88
	átlag	448	100	694	100	0,66	100
burgonya	1964	438	97	660	105	0,66	91
	1965	387	85	536	85	0,72	100
	1966	525	116	636	101	0,82	114
	1967	465	102	684	109	0,68	95
	átlag	454	100	629	100	0,72	100
zab	1964	324	98	464	110	0,70	90
	1965	350	106	372	88	0,94	120
	1966	326	98	423	100	0,77	99
	1967	324	98	433	102	0,75	96
	átlag	331	100	423	100	0,79	100

A növénykonstansnak elvileg minden évben azonosnak kellene lennie /azért nevezik konstansnak is/, a növényállomány vízszükségletét az általunk figyelembe vettekén kívül még más tényezők is befolyásolják, éppen ezért a potenciális evapotranspirációval nem teljesen egyértelmű az optimális evapotranspiráció változása évről-évre. A k értéke minden bizonnyal

állandóbb lenne, ha az evapotranspirométerben, főleg a talajfelszínen, a talajnedvességet nem határok között, hanem adott szinten tarthatnánk. A természetes csapadékhullás rendszertelensége miatt szántóföldi viszonyok között ez megoldhatatlan.

A 20. táblázat adatai bizonyítják, hogy a k értékek azon növényfajoknál a legállandóbbak, amelyek a vizigényen kívül kevésbé érzékenyek az egyéb meteorológiai tényezők változására. A lucernánál pl. az optimális evapotranspiráció mínusz 10 és plusz 8 % között változott a bemutatott négy évben, a vízfogyasztási tényező évenkénti változékonysága azonban csak + 2 és - 4 %-ot ért el maximálisan. Ez a tény arra utal, hogy a lucernaállomány vízszükségletét és öntözővízszükségletét a gyakorlat számára kielégítő pontossággal határozhatjuk meg az általunk kidolgozott módszerekkel.

A melegigényes kukorica, ill. a hőre érzékenyebb burgonya és zab növénykonstansainak változékonysága a kielégítő vizellátás ellenére is tágasabb, nevezetesen, az előbbié 24 %, míg az utóbbi kettőé 23, ill. 30 %. Átlagos k értékekkel való számítás esetén azonban az említett számértékeknek csak 50 %-a, azaz 12, 11,5 és 15 %-a a vízszükséglet becslésének hibája.

A k évenkénti ingadozása miatt szükségesnek tartjuk a továbbiakban mindazon körülmények felmérését és számításbavételét, amelyek a változékonyságot befolyásolhatják. Az adatok csakis e hatások értékelése után használhatók eredményesen. Együttal további vizsgálatokat tartunk indokoltnak annak felderítésére, hogy a növénykonstans meghatározásához milyen további tényezők vonhatók be az állandóság növelése érdekében.

A 43. formulával kiszámítottuk a k dekádonkénti és fejlődési fázisonkénti értékeit is. A növénykonstans tenyészidőszakon belüli változásának meghatározására kidolgozott eljárásunkat a burgonyaállományra mutatjuk be, amelyhez hasonlóan elvégeztük a számításokat a kukoricára, a cukorrépára, a lucernára, a zabra és a legelőgyepre is.

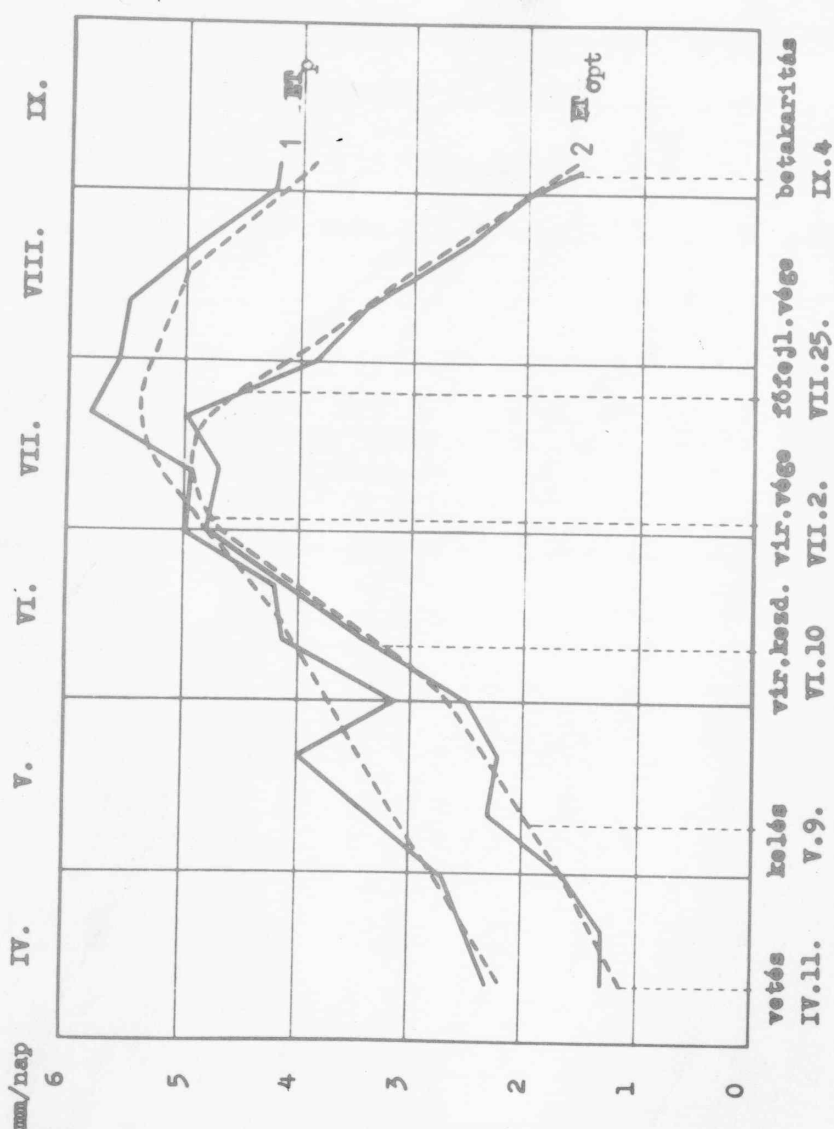
A k időbeli változásának meghatározásához a 13. ábrán mindenekelőtt grafikusán ábrázoltuk egyrészt a potenciális evapotranspirációnak /1-es folyamatos görbe/, másrészt az optimális evapotranspirációnak /2-es folyamatos görbe/ a napi értékeit az 1964 - 1967-es tenyészidő átlagában. A görbék a vetéstől a betakarításig terjedő időszakra szerkesztettük meg a dekádösszegekből készített átlagos napi értékek alapján /a dekádösszeg osztva 10-zel, ill. 11-gyel/. Az átlagos értékek használata simább futásúvá tette a görbék menetét. Az ábrán feltüntettük a /19/-es egyenlettel számított potenciális evapotranspirációt /1-es szaggatott görbe/ is az 1901 - 1950-es periódusra, valamint a burgonya optimális evapotranspirációjának sokévi átlagos valószínű menetét /2-es szaggatott görbe/, amit grafikus simítással és illesztéssel állítottunk elő. A két szaggatott görbe hányadosa szolgáltatta a sokévi átlagos k értékeket.

Eljárásunk minden bizonnyal kielégítő pontosságot eredményez, mivel egyrészt az 1964 - 1967-es periódus, -- amelynek alapján elkészült az ET_{opt} sokévi átlaga grafikus illesztéssel --, meteorológiai átlagai jól megközelítik az éghajlati törzssértékeket /21. táblázat/, másrészt, éppen az előbbi ok miatt, az optimális evapotranspiráció tenyészidőbeli görbéje már a négy év átlagában is csaknem törésmentesen fut.

A grafikus uton előállított k értékek ellenőrzésére

13. ábra. A potenciális evapotranspiráció és a burgonyaálmány vízszükségletének menete a tenyészidő folyamán.

— 1964 - 1967
 - - - 1901 - 1950

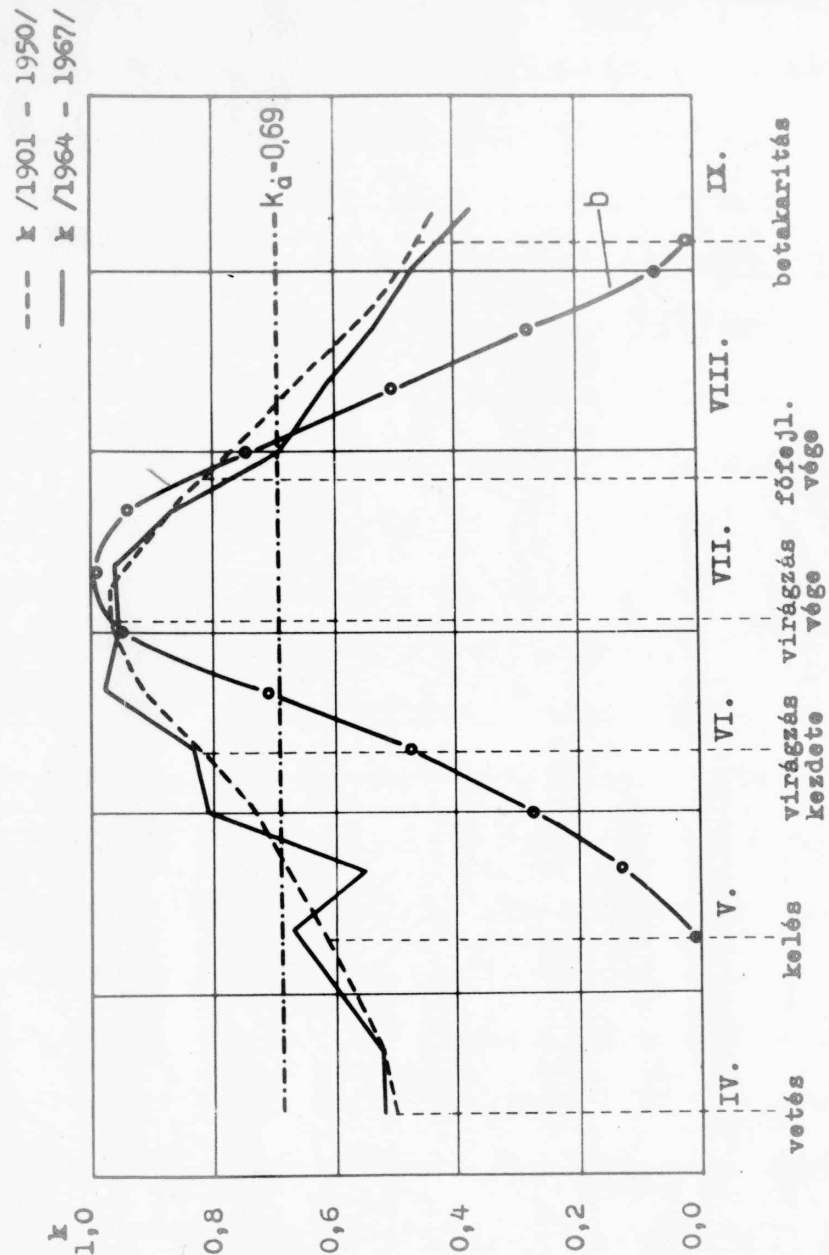


megszerkesztettük a 14. ábrát, amelyen a folyamatos görbe az 1964 - 1967-es időszakra a /43/-as formulával számított dekádértékek alapján készült, míg a szaggatott görbét a 13. ábra szaggatott görbéinek hányadosaként állítottuk elő. A tenyészidőszak átlagában mindössze 0,03-dal különbözik a különböző hosszúságu periódusra számított növénykonstans. Más területre és más időszakra a továbbiakban azokat a k értéket használhatjuk az optimális evapotranspiráció meghatározására, amelyeket a 14. ábra szaggatott görbéjéről olvashatunk le a tenyészidőszak bármely fejlődési fázisára, vagy bármely naptári napjára. Az ábrán feltüntettük a burgonya főbb fejlődési fázisának bekövetkezési időpontját is a négy kísérleti év átlagában.

21. táblázat. A főbb meteorológiai elemek alakulása az 1964-1967-es és az 1901 - 1950-es periódus tenyészidőszakában.

elem	időszak	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
E_{TP}	1901-50	69	102	126	164	155	102	718
	1964-67	74	108	138	170	150	112	752
t	1901-50	11,0	16,5	19,8	22,1	21,2	17,0	17,9
	1964-67	10,9	15,4	19,8	21,5	19,9	17,0	17,4
C	1901-50	42	51	54	46	46	37	276
	1964-67	47	57	59	47	52	30	292
e	1901-50	6,9	9,9	11,7	12,4	11,9	10,1	10,5
	1964-67	7,0	8,8	11,8	11,9	11,1	10,0	10,1
N	1901-50	5,4	5,2	5,0	4,1	4,2	4,1	4,7
	1964-67	6,3	5,4	5,0	4,3	4,1	4,4	4,9

A 14. ábra alapján az alábbi fontos következtetések von-



14. ábra. A burgonya növénykonstansának és relatív víz-szükségletének b változása a tenyészidőszak folyamán réti talajon.

vonhatók le:

a./ Az öntözési gyakorlatban a vízszükséglet meghatározásához nem elégséges a tenyészidőszak átlagos k értékének alkalmazása, mivel ez a vetéstől számított 40 napig és a betakarítás előtti 30 napban /ld. a metszéspontokat/ a vízszükséglet "tulbecsléséhez", a tenyészidő közbelső szakaszában pedig jelentős "alábecsléséhez" vezet.

b./ Hasonló megállapításra jutunk az egyes fejlődési fázisokra számított k értékek alapján is, azzal a kiegészítéssel, hogy a vetés és a virágzás vége között az egyes fenofázisok k értékei szerint a fázis első felében túl-, a második felében aláértékeljük a vízszükségletet. Ezzel szemben, a virágzás végének időpontjától a betakarításig a két fázis első felében kapunk alacsonyabb vízszükségletet a ténylegesnél, míg a második felében annál magasabbat.

c./ Pontos ~~itt~~ számításokhoz tehát lényegesen rövidebb időszakokra meghatározott növénykonstansokkal kell dolgozunk. Erre a megállapításra jutott Velev és Markov /1961/ bolgár kutató is, akik fejlődési fázisonként határozták meg a növényállományok vízszükségletét jellemző növénykonstanst. Véleményünk szerint a b./ pontban elmondottak miatt a pentád, de legalább a dekád érték^{ek} vezetnek kielégítő eredményekre.

Tekintve a dekádértékek fontosságát, táblázatba foglaltuk a kukorica, a burgonya, a cukorrépa, a lucerna, a zab és a legelő vízszükségletét jellemző növénykonstans dekádértékeit. A 22. táblázatban közöljük a k havi átlagait is. Megjegyezzük, hogy a táblázatban közölt k adatokat úgy számítottuk ki, hogy az evapotranspirométerekkel mért, majd a bemutatott eljárással redukált optimális evapotranspirációt a /19/-es és a /20/-as egyenlettel számított potenciális

22. táblázat. A különböző mezőgazdasági növényállományok növénykonstansainak dekád / k_d / és havi / k_h / átlagos értékei.

dekád	kukorica		burgonya		cukorrépa		lucerna		zab		legelő	
	k_d	k_h	k_d	k_h	k_d	k_h	k_d	k_h	k_d	k_h	k_d	k_h
IV. 1.	0,51		0,50		0,56		0,81		0,58		0,87	
2.	0,52	0,53	0,52	0,53	0,59		0,84	0,86	0,66	0,65	0,88	0,88
3.	0,52		0,57				0,88		0,71		0,89	
V. 1.	0,52		0,62		0,63		0,97		0,77		0,90	
2.	0,53	0,53	0,68	0,68	0,65		1,00	0,87	0,82	0,82	0,90	0,90
3.	0,53		0,73		0,67		0,65		0,86		0,90	
VI. 1.	0,55		0,82		0,68		0,84		0,89		0,90	
2.	0,58	0,59	0,91	0,90	0,68		0,99	0,88	0,90	0,87	0,89	0,89
3.	0,64		0,96		0,69		0,77		0,83		0,88	
VII. 1.	0,75		0,94		0,69		0,94		0,73		0,87	
2.	0,83	0,80	0,87	0,86	0,70	0,70	0,99	0,96	0,62	0,67	0,86	0,86
3.	0,83		0,77		0,70		1,00		—		0,86	
VIII. 1.	0,82		0,68		0,68		0,79		—		0,85	
2.	0,78	0,78	0,57	0,58	0,66		0,93	0,95	—	—	0,89	0,89
3.	0,73		0,49		0,65		0,98		—		0,83	
IX. 1.	0,68		0,44		0,64		1,00		—		0,82	
2.	0,63	0,62	0,38	0,41	0,63	0,63	0,74	0,83	—	—	0,80	0,80
3.	0,56		—		0,61		0,82		—		0,77	
X. 1.	0,51		—		0,60		0,85		—		0,74	
2.	0,46	0,47	—	—	0,59	0,58	0,82	0,81	—	—	0,71	0,71
3.	0,43		—		0,56		0,78		—		0,68	
átlag:	0,66		0,72		0,63		0,91		0,79		0,85	

evapotranspirációval osztottuk, ill. a sokévi átlag meghatározása esetén a grafikusan illesztett gorbéről leolvasott optimális evapotranspirációt osztottuk az említett ET_p -vel. Eppen ezért a táblázatban bemutatott k adatok a további felhasználásra /a 42-es egyenlettel történő számítások során, akár a tervezésekhez, akár az öntözési gyakorlathoz/ csakis a /19/-es és a /20/-as formulával számított ET_p bevonásával lehetséges. Egyéb formulák alkalmazása esetén a k -t újra kell számolni.

A 3.1. fejezetben bemutatott a különböző növényállományok vízszükségletének meghatározására kidolgozott módszerünket. Az 5 éves kísérletek alapján számított, a 22. táblázatban közölt k értékek birtokában nyomon követhetjük napról-napra a kukorica, a burgonya, a cukorrépa, a lucerna, a zab és a legelő vízszükségletét, közvetlenül a léghőmérséklet, a levegő telítési hiánya alapján. Az öntözővízszükségletet -- mint a 3. fejezet elején említettük -- az optimális és a tényleges evapotranspiráció ismeretében határozhatjuk meg. E két meteorológiai tényezőtől még a tényleges evapotranspiráció meghatározásának módszereivel kell foglalkoznunk.

3.2. A tényleges evapotranspiráció meghatározása.

A fejezetben megemlítjük a tényleges evapotranspiráció mérésének és számításának főbb módszereit, azok előnyeit és hátrányait, majd olyan eljárást mutatunk be, amely az öntözési gyakorlatban használható.

A tényleges evapotranspirációt kielégítő pontossággal és mégis egyszerűen meghatározó módszer ma még nem ismeretes.

Az evapotranspiráció és a biológiai környezet, valamint a légköri fizikai folyamatok között ugyanis olyan bonyolult összefüggés és kölcsönhatás áll fenn, amely nemcsak a közvetlen mérést teszi csaknem lehetetlenné, hanem a közvetett meghatározást is nagymértékben megnehezíti. E bonyolult összefüggések és kölcsönhatások vizsgálatával számos kutató foglalkozott, ám a problémákat eddig még nem oldották meg.

Az evapotranspirációval kapcsolatos kérdések közül az elpárolgott víz mennyiségének meghatározása és a folyamat időbeliségének megállapítása a legfontosabb feladat, amelyeket az alábbi módszerek valamelyikével határozhatunk meg:

1./ Közvetlen módszerek

- a/ liziméter
- b/ vízháztartás-mérés a termőtalajra vonatkoztatva
- c/ légköri vízháztartás mérés

2./ Közvetett módszerek

- a/ éghajlati adatokból levezetett empirikus képletek
- b/ a párologtató felszín energiaháztartása
- c/ a talajközeli légréteg vertikális vízgőzkicserélődése
- d/ a talaj vízháztartási összetevőinek számítása

3.2.1. A tényleges evapotranspiráció közvetlen és közvetett mérése.

A liziméteres méréseknek nagy a jelentőségük, de amint Budükö /1955/ megállapította, a szárazságra hajló területeken nem adnak kielégítő adatokat. A liziméter növényzete ugyanis csak az edény talajából vehet föl nedvességet, míg a környező növényzet mélyebbre nyúló gyökérzete az alsóbb talajrétegek nedvességtartalékából is hasznosít. Az alsóbb rétegekből fölvetett vízmennyiség tekintélyes lehet, ha a felső rétegek nedvességtartalma erősen megcsappant. Nyilvánvalóan ilyenkor nagy a liziméterrel mért és a környezet valódi evapotranspirációja közötti különbség.

A liziméter alapvető hibája, hogy benne a természetes talajtól eltérő, mesterséges körülmények vannak. A természetes állapothoz képest megszűnik az alsó és az oldalsó talajrétegekkel a víz- és a nedvességcsere, korlátozódik vagy meg-
növekszik a hőcsere, s így a növényzet gyökere is másként fejlődik, mint természetes körülmények között, s másképpen is párologtat. Brogmus /1959/ újabb vizsgálatai kimutatták, hogy a liziméter nem alkalmas általánosításokra, éppen ezért Kaulina /1960/ kutatásai szerint is csak speciális célokra való. Hazánkban Erdős /1964/ elemezte a liziméterek hibáit.

A liziméter típusok közül alkalmasabb a hidraulikus liziméter, ám a nagy mérete miatt rendkívül költséges berendezés, ezért a gyakorlatban nem terjedt el.

A közvetlen módszerek közül -- főleg a hidrológusok körében -- eléggé elterjedt a talaj vízháztartási összetevőinek mérésén alapuló párolgás meghatározás. Valamely terület vízháztartási mérlegének nyomon követése azonban nagyon nehéz feladat. Megoldása nemcsak a meteorológiai, hanem a hidrológiai, geológiai, geográfiai és a talajtani ismereteket is feltételezi. Minél rövidebb időszakra és minél kisebb területre oldjuk meg a vízháztartási egyenletet, annál nagyobbak a nehézségek és természetesen annál pontatlabbak a talaj vízmérlegéből számított párolgásadatok.

A párolgás-meghatározás vízháztartási módszerének lényege -- mint ismeretes -- abban áll, hogy adott talajrétegnek a vízháztartási összetevőit, a kiadást és a bevételt kell számbavenni a következő egyszerűsített vízháztartási egyenlettel:

$$C + V_k - L - S - ET_a = \pm \Delta w$$

Ha a párolgást számítjuk, akkor a többi összetevőt mérni kell. Amíg a csapadéknak $/C/$, a leszivárgásnak $/S/$ és a talajréteg nedvességekészlet változásának $/\Delta W/$ mérése nem okoz különösebb nehézséget, addig a lefolyás $/L/$ és a talajvizből kapilláris uton érkező víz $/V_k/$ mérése igen nehéz feladat. Érthető tehát, hogy ezt az eljárást a párolgás meghatározására főleg a kutatások során alkalmazzák. A gyakorlati feladatok megoldásánál éghajlati viszonyaink között a vegetációs periódusban a lefolyás, a leszivárgás és a kapilláris vizemeléssel szembe fordított bevitel rendszerint elhanyagolható.

A kísérleti parcellák növényállományának evapotranspirációját a vízháztartási módszerrel Szarvason is meghatároztuk minden évben. A csapadékot a szabvány elhelyezésű csapadékmérővel mértük. A kísérleti területet magasított öntözőcsatorna határolja, ezért sem lefolyás, sem odafolyás nem történhetett. A talajnedvességet a hagyományos termo-gravimetrius eljárással határoztuk meg 100 cm mélységig, 10 cm-enként. A mérést három ismétlésben végeztük. A pontosság növelése érdekében a szokásos 25 gr helyett 100 gr talajmintát vettünk, s így egy-egy rétegből a háromszoros ismétlés következtében 300 gr talaj szolgált a talajnedvesség meghatározására.

Kukorica és lucerna állományban általában dekádonként folytak mérések, míg a többi parcellán a vetés és a betakarítás napján határoztuk meg az 1 m-nyi talajréteg induló és befejező vízkészletét.

A leszivárgás és a talajvizből történő párolgás meghatározásánál csak becslésekre szorítkozhattunk, mivel a vízháztartási komponensek mérésére szolgáló műszerek csak 1968-ban kapcsolódtak be a mérési programba. Vizsgálataink

során a parcellák adatait csupán tájékoztató értéként tekintettük az evapotranspirométerrel mért adatok értékeléséhez, éppen ezért nem is törekedtünk a vízháztartási mérleg minden összetevőjének föltétlen meghatározására. A vízháztartási módszer legnagyobb hátrányaként a munkaigényességét tekintik, valamint azt, hogy rövid időszakra nem használható.

A légkör vízháztartásának számításba vételével csak kontinentális méretekre és hosszú időszakok átlagára /pl. évi átlagra/ határozható meg a párolgás, ezért csak speciális célokra használják.

Az elmondottak alapján nyilvánvaló, hogy azok az eljárások, amelyek közvetlenül, vagy közvetett mérésekkel határozzák meg a tényleges evapotranspirációt, fontos segéd-eszközei ugyan a jelenség megismerésére törekvő elméleti kutatásoknak, ám ezen az uton nem oldhatók meg maradéktalanul a párolgással kapcsolatos problémák.

3.2.2. A tényleges evapotranspiráció számítása.

A közvetett módszerek az előbbi eljárásokkal szemben általánosabb eredményeket adnak. Az éghajlat kutatásokban, de ujabban a gyakorlati kérdések megoldásánál is a klimatológiai módszereket használják. A számítási módszerek a párolgás és a párolgást befolyásoló tényezők közötti szoros összefüggések figyelembe vételén alapulnak. A kapcsolatot általában az

$$ET_a = w \cdot (E - e) \cdot f/v/ \quad /45/$$

tapasztalati képlettel fejezik ki, ahol w a talaj nedves-

vességét, f/v pedig a szél sebességét jellemző paraméter. A telítési hiány helyett gyakran találkozhatunk más meteorológiai jellemzőkkel, nevezetesen a léghőmérséklettel, a sugárzással, a napfénytartammal, a relatív nedvességgel stb.

A klimatológiai módszerek előnye, hogy valamely felszín tényleges evapotranspirációját könnyen hozzáférhető meteorológiai adatokból határozhatjuk meg. Hátránya, hogy rövid időszakra /pl. napra/ nem alkalmazható, másrészt az adott növényállomány tényleges evapotranspirációja helyett általában a területi átlagos párolgást adják, mivel rendszerint nem tartalmazzák a növényzetet jellemző biológiai tényezőket.

A párolgással foglalkozó kutatók körében már korábban fölmerült a gondolat, hogy a felszín energiaháztartásának egyenlegéből is kiszámítható az evapotranspiráció. E módszer azonban mindaddig csak elméleti jelentőségű volt, amíg a hőháztartási komponensek mérésére nem szerkesztettek pontos műszereket. A módszer alapja az energiamegmaradás törvénye, amelynek értelmében az energiabevétel egyenlő a kiadással. A növényállomány hőháztartásának egyenletét a legrészletesebb formában Suomi és Tanner /1958/ foglalta össze. Az általuk megadott kilenc összetevő közül az első négy a vertikális irányú hőforgalmat /sugárzási egyenleg, levegő hőforgalma, a latens hő forgalma, a talaj hőforgalma/, az ötödik és a hatodik a vízgőz latens energiájának és a levegő szabad hőtartalmának horizontális divergenciáját /advektív nedvesség és hőszállítás/, míg az utolsó három komponens a növényállomány egységsíki térfogatában foglalt növénytömeg és levegőtömeg által raktározott szabad hőnek, valamint a térfogatban lévő vízgőz által lekötött latens hőváltozást adja. A gyakorlati számításokra

általában csak a függőleges irányu hőforgalmat veszik számításba, a többi összetevőt elhanyagolják, mivel azok az első négy tag nagyságához képest jelentéktelenek. A felszín egyszerűsített hőháztartási egyenlege a következő formában használatos:

$$Q_S + Q_L + Q_V + Q_T = 0. \quad /46/$$

/Pontosabb számításokhoz azonban amikor növényzet borítja a talajt, a hőháztartási egyenleg járulékos tagjait is számításba kell vennünk./Rider és Robinson /1951/ rámutatott, hogy az állomány-térfogatban raktározott latens és szabad hő derült napokon csak töredék része a Q_L -nek és a Q_V -nek ~~csak töredék-része~~, nagy hőmérsékleti gradiensű éjszakákon pedig annak ellenére, hogy értékük az előbb említett komponenseknek a 10 %-át is elérheti, minthogy a Q_L és a Q_V maga is kicsiny. Borult napokon, amikor a hőmérsékleti gradiens csekély, e két járulékos tag méginkább elhanyagolható.

A növényzet által raktározott hőmennyiséget sem veszik figyelembe. Suomi és Tanner /1958/, ill. Rider és Robinson /1951/ ugyanis rámutatott, hogy ez a hőháztartási összetevő a /46/-os egyenletben közölt négy fő komponens bármelyikéhez viszonyítva kicsi, még a 3 m magas kukorica állomány esetén is csupán 1 %-a a sugárzási egyenlegnek.

A vizgóz latens energiájának és a levegő szabad hőjének horizontális divergenciája /advektív hő- és nedvesség-szállítás/ azonban egyes esetekben már nagy lehet, ezért a számításbavételének mellőzése jelentős hibákhoz vezethet. E két összetevő mutatja az evapotranspirométerekkel mért párolgás-növekedményt /oázis-hatást/ is. A horizontális hőszállí-

tás szélső esetben elérheti a sugárzási egyenleg biztosította energiamennyiséget is, főleg ha kis kiterjedésű párolgó felszínről van szó /ld. a korábban bemutatott máltai példát/.

A tenyészidőben végzendő számítások esetén további egyszerűsítésekkel élhetünk. A Q_v ugyanis sok olyan tényezőt tartalmaz, amely a nyári félévben hiányzik. Ebben az időszakban dér, zuzmara, hó és jég jelenlétével nem kell számolnunk, ezért a Q_v komponensnél elegendő a párolgás által forgalmazott hő meghatározása. Így a Q_v helyett az $L \cdot ET_a$ helyettesíthető.

Ezen megfontolások alapján a tenyészidőszakban az energiaháztartás egyenleg alapján a következő összefüggés adja a tényleges evapotranspirációt:

$$ET_a = \frac{Q_s - Q_l - Q_t}{L} \quad /47/$$

A tényleges evapotranspiráció számítása tehát a felszín sugárzási egyenlegének, ill. a levegő és a talaj által forgalmazott hőnek a mérésére vezethető vissza. Mérésük nagy műszaki felkészültséget, a regisztrált adatok feldolgozása és kiértékelése pedig tetemes munkaerőt igényel. Emiatt ez a módszer sem terjedt el a gyakorlatban, bár a kutatásokhoz egyre inkább ezt alkalmazzák, mivel lehetővé teszi a párolgás meghatározását akár egy óránál rövidebb időszakokra is.

A szarvasi kutatóállomáson minden elemet mértünk és regisztráltattunk, amelyek lehetővé tették a lucernaállomány tényleges evapotranspirációjának meghatározását hőháztartási módszerrel /Kissné Tóth E., 1966^{a)} is. A kapott adatokat az általunk kidolgozott számítási módszer ellenőrzésére használ-

tuk.

A különböző felszínek tényleges evapotranspirációjának kiszámítására az utóbbi években mind jobban előtérbe került a talajközeli légrétegben történő vertikális vízgőzkicserélődés meghatározásának turbulens diffúziós módszere. A számítás lehetőségének alapgondolatát Schmidt /1925/ adta meg. Megállapította, hogy a talajközeli légrétegben a levegőrészecskék tulajdonságainak /nedvességtartalmának, hőmérsékletének, szennyezettségének/ függőleges irányu kicserélődését a levegőrészecske vertikális irányu eltolódása okozza. Schmidt kicserélődési elmélete alapján Thorntwaite és Holzman /1939/ dolgozták ki elsőnek a turbulens kicserélődési folyamatból származó vertikális vízgőzszállítás elméleti alapjait, s a számításokra alkalmas munkaformulát. Később számos kutató módosította Schmidt

$$W = - K_q \frac{dq}{dz}$$

/48/

általános összefüggését, ahol W [gr/sec] a horizontális felületegységen időegység alatt átáramló vízgőz mennyisége, K_q [gr cm⁻¹ sec⁻¹] a vízgőz áramlására vonatkozó kicserélődési együttható, dq/dz [gr/kg] a fajlagos nedvesség vertikális irányu gradiense. A /48/-as egyenlet tehát azt fejezi ki, hogy a felületegységen időegység alatt áthaladó vízgőzmennyiség arányos a kicserélődési együtthatóval, valamint a nedvesség vertikális gradiensevel. A negatív előjel azt jelenti, hogy a vízgőz átvitele a nedvességnek a magassággal való csökkenésekor felfelé, növekedésekor lefelé irányul.

A kidolgozott turbulens diffúziós módszerek jelentősen eltérnek egymástól attól függően, hogy a kicserélődési együtt-

hatót milyen formában és mértékben vonják be az egyenletbe.

Szarvasi kutatásaink során a különböző növényállományok tényleges evapotranspirációjának óránkénti értékeit Monyin és Obuhov /1954/ ~~eljárását alkalmaztuk~~ módszerével számítottuk ki /Antal E., 1964; Kissné Tóth E., 1965, 1966^{b)}

A tényleges evapotranspiráció meghatározásának turbulens diffúziós módszere a következő előnyökkel rendelkezik. Segítségével tetszés szerinti rövid időre és bármilyen növényállományra meghatározható a párolgás. A számításokhoz csupán a léghőmérsékletet, a légnedvességet és a szélesebbességet kell mérni két különböző magasságban. Hátránya, hogy sok számítást igényel és a folyamatos mérés hosszabb időszakra csakis elektromos regisztráló berendezéssel, esetleg digitális rendszerrel oldható meg.

Az energiaháztartás módszert és a turbulens diffúziós eljárásokat korábbi tanulmányunkban részletesen elemeztük /Antal, 1962/. Minthogy az ott bemutatottak szerint mindkét módszer alkalmazása nagyfokú felkészültséget igényel mind szakmailag, mind műszakilag, ezért az öntözési gyakorlatban nem terjedt el egyik módszer sem.

A tényleges evapotranspiráció kiszámításához a potenciális evapotranspiráció fogalmát vontuk be. A módszer levezetésénél abból indultunk ki, hogy a vízkapacitásáig telített talaj esetén a következő egyenlőség áll fenn: $ET_a = ET_p$. A gyökérzóna fokozatos kiszáradásakor a tényleges evapotranspiráció egyre kisebb a lehetséges párolgásnál, s a csökkenés mértékét a talaj tényleges nedvességtartalma jellemző paraméter w , valamint a növény biológiai sajátossága b szabja meg. Ezek alapján felírható, hogy a tényleges evapotranspiráció függvénye a növény biológiai tulajdonságainak, a talaj-

nedvességnek és arányos a potenciális evapotranspirációval, azaz

$$ET_a = ET_p \cdot f/b, w/. \quad /49/$$

A talajnedvességet jellemző paramétert egyrészt úgy kell megválasztanunk, hogy a holtvizardalmáig kiszáradt talaj esetén a párolgás értéke nulla legyen, vízkapacitásnyi nedvességtartalomnál pedig fennálljon az $ET_a = ET_p$ egyenlőség. Másrészt a b -nek a növényállomány hatását kell tükröznie a párolgás alakulására. E három feltételt kielégíti az alábbi összefüggés:

$$ET_a = \frac{w + b}{1 + b} \cdot w ET_p, \quad /50/$$

ahol a

$$f/b, w/ = \frac{w + b}{1 + b} w \quad /51/$$

a talaj könnyen fölhasználható nedvességkészletének és a növény vizigényét jellemző biológiai tényezőnek a tényleges evapotranspirációra gyakorolt együttes hatását tükrözi.

A talajnedvességet jellemző faktort a

$$w = \frac{TV - HV}{VK - HV} = \frac{TV - HV}{DV} \quad /52/$$

egyenlettel definiáljuk, míg a biológiai vizigényt, paramétert a különböző fejlődési fázisok relatív vizigényével jellemezzük. A burgonya relatív vizigényének tenyészidőszakon belüli menetét a 14. ábrán mutattuk be $/b$ görbe/. A b értékeit

-- ugyanugy, mint a \underline{k} értékeit -- dekádonként határoztuk meg a következő összefüggéssel:

$$b = \frac{ET_{optn} - c}{ET_{optm} - c}.$$

/53/

A \underline{c} a csupasz talaj sokévi átlagos párolgása a vetés napján, rendszerint 1,0 - 1,5 mm között változik. Az ET_{optn} a dekádonként meghatározott napi vízszükséglet, s számértéke a \underline{k} és az ET_p szorzataként állítható elő. Az ET_{optm} az átlagos tenyészidőszakra számított maximális napi vízszükséglet.

Vizsgáljuk még meg, hogy a korábban említett három feltevést kielégíti-e a tényleges evapotranspiráció számítására általunk ajánlott /50/-es egyenlet?

1./ Ha a TV \rightarrow VK-hoz, akkor a w \rightarrow 1-hez, s ennek következtében az $ET_a \rightarrow ET_p$ értékéhez, bármilyen \underline{b} esetén. Ez azt jelenti, hogy a szántóföldi vízkapacitásig telített talaj esetén a tényleges evapotranspiráció megegyezik a lehetséges párolgással, ami a természetben valóban létező tény.

2./ Ha TV \rightarrow HV-hez, akkor w \rightarrow 0-hoz, s így az ET_a is tart a nullához, bármilyen \underline{b} -nél. A tényleges evapotranspiráció az egyenlet értelmében tehát a talajnedvességekészletnek a holtviztartalom felé közeledtével fokozatosan megszűnik, ami ugyancsak közismert tény.

3./ A 14. ábrán látható \underline{b} görbe jól tükrözi a növény vízigényének tenyészidőszakon belüli változását. Vetéstől kelésig az összefüggés szerint -- a \underline{b} nulla lévén -- a növény nem játszik szerepet a tényleges evapotranspiráció alakulásában, amit ebben az időszakban az ET_p és a \underline{w} értéke határoz

meg. Kelés után, a transpiráció növekedtével a b értéke rohamosan emelkedik, vagyis az /50/-es egyenletben a növény fejlődésével fokozott szerephez jut a vizigényt jellemző biológiai tényező is. A b -t természetesen minden növényfajára meg kell határozni ugyanugy, mint a vízszükséglet számításánál a k növénykonstanst. Eddigi evapotranspirométeres méréseink alapján a kukoricára, a burgonyára, a cukorrépára, a lucernára és a zabra állapíthattuk meg a b dekádértékeit /23. táblázat/. Lucernánál aláhúzással jelöltük azokat az értékeket /kaszálás/, amelyekről az új növényzet biológiai konstansaival kell számolni. Az első három kaszálásnál a b a lucerna növekedésével együtt növekszik az 1,0 maximális értékig. Az utolsó ~~három~~ két kaszálásnál azonban más jelenséggel ta-

23. táblázat. A különböző növényfélésegek vizigényét jellemző biológiai tényező /relatív vizigény/ dekád értékei /b/

dekád	kukorica	burgonya	cukorrépa	lucerna	zab
	b	b	b	b	b
IV. 1.	0,00	0,00	0,00	0,28	0,05
2.	0,00	0,00	0,00	0,33	0,10
3.	0,00	0,00	0,10	0,47	0,22
V. 1.	0,00	0,00	0,20	0,78	0,38
2.	0,05	0,08	0,37	1,00	0,50
3.	0,19	0,20	0,48	0,47	0,62
VI. 1.	0,30	0,38	0,59	0,72	0,78
2.	0,46	0,60	0,70	0,87	0,95
3.	0,66	0,86	0,82	1,00	1,00
VII. 1.	0,86	0,98	0,96	0,55	0,90
2.	1,00	1,00	1,00	0,91	0,52
3.	0,98	0,97	0,96	1,00	0,20
VIII. 1.	0,90	0,85	0,85	0,78	-
2.	0,74	0,60	0,74	1,00	-
3.	0,60	0,38	0,63	0,92	-
IX. 1.	0,46	0,15	0,52	0,78	-
2.	0,31	0,02	0,41	0,83	-
3.	0,13	0,00	0,33	1,00	-

23. táblázat folytatása:

dekád	kukorica b	burgonya b	cukorrépa b	lucerna b	zab b
X. 1.	0,02	0,00	0,26	0,83	-
2.	0,00	0,00	0,22	0,56	-
3.	0,00	0,00	0,19	0,22	-

lálkozunk. Az előző kaszálás utáni második dekádban éri el a b együttható az 1,00 értéket, majd utána fokozatosan csökken. A biológiai görbe csökkenése a növény magasságának növekedésével valószínűleg a növény előregedésével magyarázható. Egyébként a b csökkenését mindegyik növényfajnál megfigyelhetjük, ami rendszerint a virágzás utáni 1 - 2 dekádban kezdődik.

Röviden áttekintettük azokat a mérési és számítási módszereket, amelyeket a növényzettel borított területek tényleges evapotranspirációjának meghatározására alkalmaznak. Rámutattunk ezen eljárások előnyeire és hátrányaira, megállapítva, hogy az öntözési gyakorlatban, ahol könnyen és gyorsan kell meghatározni a tényleges vízfogyasztást, általában nem alkalmazhatók, de annál inkább a kutatási problémák megoldásánál.

Felhasználva azt a közismert tényt, hogy a tényleges evapotranspiráció és a lehetséges párolgás között kapcsolat van, kidolgoztunk egy formulát, amely alkalmas a különböző növényállományok tényleges vízfogyasztásának kiszámítására. Az összefüggés alkalmazásához ismerni kell a potenciális evapotranspirációt, amit a /19/-es és a /20/-as egyenlettel számíthatunk, a növény vizigényének tenyészidőszakon belüli változását jellemző paramétert, vagyis a biológiai tényezőt, amit burgonyára a 14. ábra b görbéről olvashatunk le a te-

nyésidőszak bármelyik napjára, míg további négy növényfajra a 23. táblázat adatai szolgáltatják a \underline{p} dekád értékeit. A tényleges evapotranspiráció számításához ismernünk kell továbbá a talaj nedvességtartalmának a párolgásra gyakorolt hatását tükröző \underline{w} paramétert. A \underline{w} naponkénti értékeit az /52/-es egyenlettel számíthatjuk ki, ha rendelkezésünkre állnak a talaj szántóföldi vízkapacitását, a holtvizardartalmát, valamint vetés napján az induló talajnedvességekészletet jellemző adatok. Ez utóbbit számíthatjuk is, ha a tél végén vízkapacitásáig telített a talaj. A tényleges evapotranspiráció számítására bemutatott aránylag egyszerű módszer pontosságának értékelését későbbi fejezetben adjuk meg.

Miután rendelkezésünkre áll mind a növényállomány vízszükségletének /optimális evapotranspirációjának/, mind a tényleges vízfogyasztásának /tényleges evapotranspirációjának/ számítási módszere /19-es, ill. 20-as, valamint az 50-es egyenletek/, rátérhetünk az öntözés meteorológiai adatok alapján történő előrejelzés menetének ismertetésére.

3. 3. Az öntözés előrejelzése.

Az öntözővízszükséglet és az öntözési időpont előrejelzéséhez a következő adatok szükségesek:

- 1./ A léghőmérséklet napi közepe [$^{\circ}\text{C}$]
- 2./ A telítési hiány napi közepe [hgmm]
- 3./ A csapadék napi összege [mm]
- 4./ A növénykonstans \underline{k} dekádértékei [dim. nélküli szám]
- 5./ A relatív vizigény \underline{p} dekádértékei ["]
- 6./ A kritikus talajnedvesség [VK, vagy DV %-ában]
- 7./ A figyelembe veendő talajréteg vastagsága [cm]
- 8./ A szántóföldi vízkapacitás 10 cm-ként 1 m-ig [mm]
- 9./ A talaj holtvizardartalma 10 cm-ként 1 m-ig [mm]
- 10./ A talaj vízkészlete a vetés napján 1 m-ig [mm]

Az 1 - 3 pontban említett adatok megkaphatók a legközelebbi meteorológiai állomásról, ajánlatos azonban a csapadékot a gazdaság területén mérni, mivel ennél az elemnél a területi változékonyság miatt jelentős eltérések lehetnek néhány km-en belül is.

A növénykonstans értékeit evapotranspirométerekkel mért adatok alapján kell meghatározni minden öntözendő növényfélésegre. Értekezésünkben hat növényfajra közöljük a növénykonstans dekádonkénti, havonkénti értékeit /22. táblázat/, nevezetesen a kukorica, a burgonya, a cukorrépa, a lucerna, a zab és a legelőgyep k értékeit foglaltuk táblázatba. Folyamatban van a kender, az őszi buza, az őszi árpa, a tavaszi árpa, a silókukorica és a vörös here növénykonstansainak meghatározása, ugyancsak 10 napos időszakokra.

A relatív vizigényt jellemző biológiai tényező b szintén az evapotranspirométer adatai alapján határozható meg, az /53/-as egyenlet segítségével. Az öt esztendő kísérleti méréseink alapján a b dekádértékeit kukoricára, burgonyára, cukorrépára, lucernára és zabra számítottuk ki. E számértékeket a 23. táblázatban foglaltuk össze. A közölt k és b dekádértékek alapján megrajzolható mindkét paraméter folyamatos menete a vetéstől a betakarításig, s így a k , ill. a b a tenyészidőszak bármely napjára leolvasható /ld. 14. ábrát, ahol a burgonyára mutattunk be példát a növénykonstans és a biológiai tényező görbéinek megszerkesztésére/. A közel jövőben elkészül a kender, az őszi buza, az őszi árpa, a tavaszi árpa, a silókukorica és a vöröshere, valamint a fű biológiai görbéje is.

A kritikus talajnedvesség %-os értéke helyett Penman /Pearl, /1954/ a gyökérállandót használja, ami szerinte az a maximális

talajnedvességihiány csapadék mm-ben kifejezve, amelynél a transpiráció korlátozódni kezd. Másként megfogalmazva: az optimális talajnedvességekészlet alsó határa csapadék mm-ben. A gyökérállandó dinamikusabb paraméter, mint a százalékosan megadott kritikus talajnedvesség w_{kr} , mivel tartalmazza a gyökérzet mélységének időbeli változását is. A w_{kr} alkalmazása esetén mindig meg kell határozni, hogy az adott fejlődési fázisban mekkora talajréteget kell bevonni a vízháztartás-vizsgálatokba. Hogy hány %-os talajnedvességtartalomnál kezd korlátozódni a transpiráció, azt még nem tudták egyértelműen megállapítani. A vitás kérdéseket csakis szántóföldi kísérletek igazolhatják. Addig is elfogadhatjuk azokat az általános tapasztalatokat, amelyek ha eléggé eltérő értékeket is adnak a w_{kr} -ra, de felhasználhatók az öntözési előrejelzésekhez. Mint korábban említettük, burgonyára a VK 60-85 %-ában rögzítik az optimális talajnedvesség alsó határát, s általában a VK 70 %-át szokás venni. Ha hozzávetőlegesen ismerjük a növény gyökérrendszerének mélység szerinti változását a tenyészidő folyamán, kiszámítható a kritikus talajvizekészlet is, bármely fejlődési fázisban. A számításokhoz a kritikus nedvesség %-os értéke és a figyelembe veendő talajréteg vastagságának ismerete szükséges.

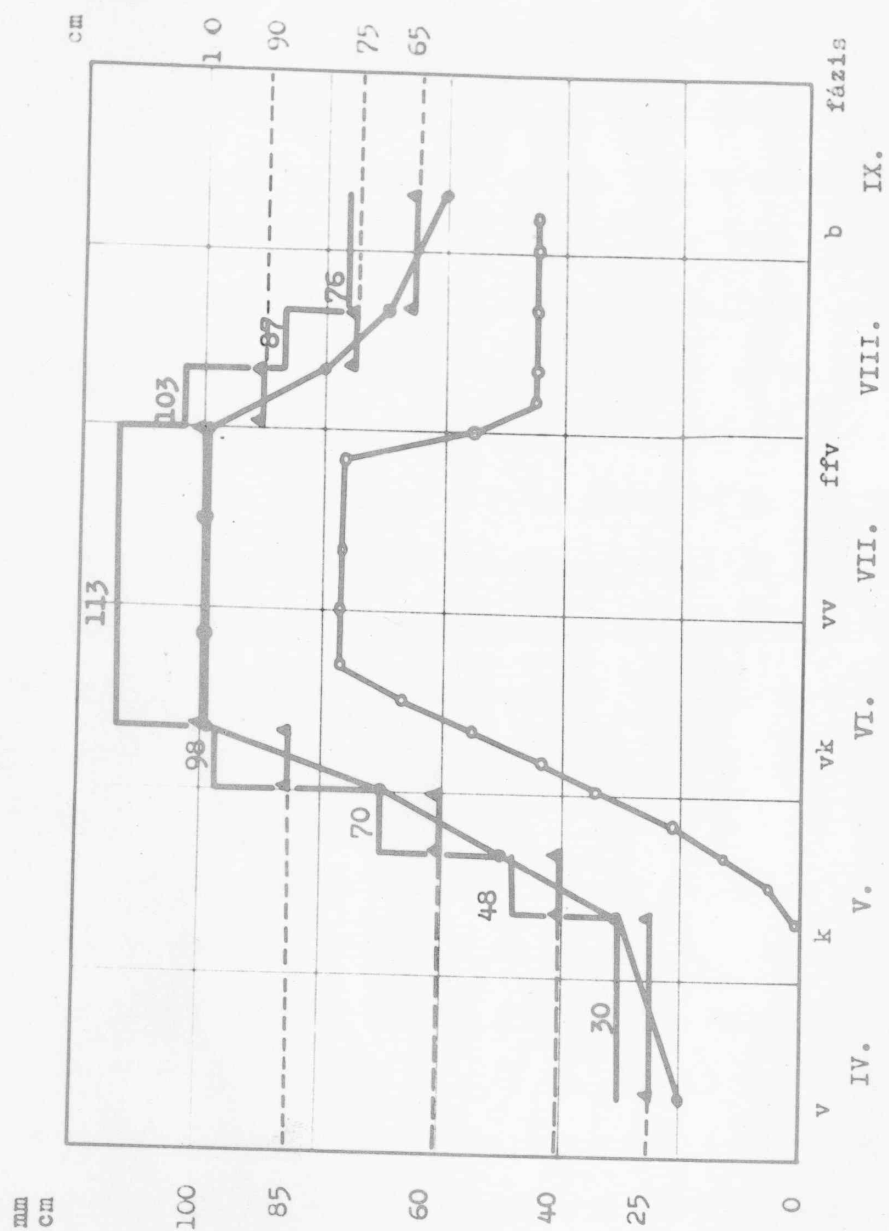
Ha nem ismerjük pontosan a gyökérzet által behálózott talajréteg vastagságának növekedési ütemét, kétféleképpen járhatunk el. Az egyik szokásos mód szerint a talaj vízháztartási összetevőinek számításbavételénél a vetés napjától a betakarításig azonos rétegvastagságot vesznek figyelembe.

Burgonyánál pl. szokásos a 60, 80, vagy 100 cm vastag talajréteg bevonása a vizsgálatokba. Ennek az eljárásnak az a hátránya, hogy a felső 10 - 20 cm-es réteg kiszáradása nem tü-

nik ki, mivel a számításba vett 100 cm vastag talajréteg összes vízkészletéhez képest a felső réteg nedvességének csökkenése kicsi.

Az elmondottak alapján nyilvánvaló, hogy a tenyészidő folyamán változó vastagságú réteg vízmérlegét kell számításba venni. Minthogy a gyökérmélység időbeli változására nem talákoztunk egyértelmű kutatási eredményekkel, ezért második módként új, közelítő eljárást dolgoztunk ki a figyelembe veendő talajréteg vastagságának időbeli változtatására. A módszer alkalmazását burgonyára mutatjuk be, de hasonlóképpen járhatunk el az évelő növények kivételével más, egynyári növényeknél is.

Első lépésként a 15. ábrán megrajzoltuk a burgonya magasságának növekedési görbéjét az 1964 - 1967-es időszak átlagában. Feltételeztük, hogy a gyökérzet lefelé irányuló növekedése arányos a föld feletti rész növekedésével. Kiinduló mélységként vetéskor a 20, keléskor a 30 cm-es felső réteget vettük alapul, maximális mélységként pedig a gyakorlati vízháztartás számításoknál szokásos 1 m mélységet. A számításokhoz egységnek vettük a burgonya legnagyobb magasságát /négy év átlagában 77 cm/, másrészt a 100 cm-es mélységet. Következő lépésként kiszámítottuk, hogy az adott dekád végére a legnagyobb magasságnak hány %-ára növekedett a növény, majd vettük az 1 m-es rétegnek ugyanennyi %-át cm-ben. A kapott értéket hozzáadtuk a keléskor önkényesen választott 30 cm-hez. Az eljárást minden dekádban alkalmaztuk mindaddig, amíg elértük az 1 m-es mélységet. Ezt a réteget a főfejlődés végéig állandóan 1 m-nek vettük, majd a burgonyaszár "megrogyanása" utáni dekádtól kezdve az előbbi eljárás szerint csökkentettük, egészen 60 cm-ig. A vízháztartás- vizsgálatokba



15. ábra. A burgonya magassága /o—o/, a vizsgélatba bevonandó talaj mélysége /•—•, —/ és a gyökérállandó /—/ menete a tenyésztésben.

a bevonandó réteg vastagságaként a dekád első és utolsó napjához tartozó mélység középértékét tekintettük, amelyek értékeit a 15. ábra függőleges tengelyére kivetítettük.

A figyelembe veendő mélységek ismeretében meghatároztuk a burgonyaállomány által hasznosítható vízkészlet értékét az adott réteg szántóföldi vízkapacitása és annak 70 %-os értéke közötti különbségként. A hasznosítható vízkészlet értékét a megrajzolt lépcsők fölött számokkal is feltüntettük /mm-ben/. A tenyészidőszak kezdetén a szarvasi talajon már 30 - 43 mm vízhiány esetén is szükség lehet öntözésre, míg a virágzás kezdetétől a főfejlődés végéig csak 113 mm-es vízhiánynál kell az 1 m-es réteget feltölteni.

Az öntözési előrejelzéshez a szántóföldi vízkapacitást és a holtvíz tartalmat a mezőgazdasági üzem kint a területen meghatározhatja. Lényeges, hogy az értékek 10 cm-es rétegenként kerüljenek meghatározásra, így a számításokat változó talajmélységekre is elvégezhetjük.

Az induló vízkészletet /1 m-es rétegben 10 cm-ként/ közvetlen méréssel határozhatjuk meg.

Ha a naponkénti tényleges evapotranspirációt rendre levonjuk az induló vízkészletből, a lehullott csapadékot pedig folyamatosan hozzáadjuk, akkor nyomon követhetjük az adott talajréteg nedvességekészletének változását anélkül, hogy rendszeres talajnedvesség méréseket végeznénk. Amikor a talajnedvesség hiánya számértékben megegyezik a $VK - w_{kr}$ értékével: öntözni kell. Ez a nap az öntözés időpontja. Az öntözővíz-szükséglet mm-ben kifejezett értékét pedig az határozza meg, hogy az adott talajréteget vízkapacitásának hány %-ára töltjük fel. Az öntözés napjától a számításokat, vagyis a vízháztartási iv vezetését újra kezdjük, s az evapotranspirációt az öntözött

víz mennyiségével növelt készletből vonjuk le.

A kidolgozott öntözés-előrejelzési modellt az 1967. évi tenyészidőszakban alkalmaztuk Szarvason, kisvárdai róza burgonyára. A folyamatos számítások menetét a 24. táblázatban bemutatott vízháztartási iv módszeres kitöltésével illusztráljuk. A táblázattal kapcsolatban megjegyezzük, hogy az öntözést nem a bemutatott modell alapján végeztük, hanem rendszertelenül. Így a talajnedvességekészlet nagyobb változékonysága méginkább alkalmassá teszi a kidolgozott számítási módszerek ellenőrzését.

A burgonyaállomány öntözésének előrejelzését, ill. a kidolgozott számítási módszerek ellenőrzését a 24. táblázat rovatainak kitöltése útján hajthatjuk végre. A számítások menetét pentád adatokkal mutatjuk be. A gyakorlati előrejelzéshez azonban naponként kell nyomon követni az öntözött növényállomány talajának nedvességekészlet változását.

A 24. táblázat első oszlopába mindenekelőtt ~~minden~~ beírjuk a dátumot, amelyre a vízháztartási mérleget számítjuk. /Rövidség kedvéért jelen esetben a pentádok száma kerül ~~kerül~~ a dátum rovatba./ A /19/-es egyenlettel kiszámítjuk a potenciális evapotranspirációt, s beírjuk a 2. oszlopba, míg a 3.-ba a lehullott csapadék mennyisége kerül. A 4. rovatba a számításba vett talajréteg vastagságát jegyezzük, vagyis a gyökérzóna /Gy/ vastagságát cm-ben. Az 5. oszlopba csak akkor kerül számérték, amikor növeljük a figyelembe vevendő talajréteg vastagságát. A beírandó adat az ujonnan bevont talajréteg diszponibilis vízkészlete, vagyis az összes felhasználható vízkészlet megváltozása / ΔDV /. Ha pl. 25 cm-ről 40 cm-re térünk át, akkor az ujonnan számításbavett 15 cm-es talajréteg hasznos vízkészletét írjuk be. A 6. rovat

a 4. rovatban feltüntetett talajréteg diszponibilis vízkészletét tartalmazza, ami csak a réteg növelésekor változik, mégpedig az 5. oszlopba irt értékkel.

A 7. oszlopban a számítások első napján /vetéskor/ mért, vagy másképpen megállapított ténylegesen hasznosítható vízkészletet $/w_1 - HV/$ találjuk. A második napon /második sorban/ ugyanebbe az oszlopba a 12. rovat előző napi értéke kerül. A réteg változtatásakor hozzáadjuk az 5. rovatban lévő ΔDV értékét is. Következő lépésként a 7. oszlop adatát elosztjuk a 6.-éval és a hányadost /a w paramétert/ a 8. rovatba írjuk.

A 9. oszlopba a 14. ábra b görbájéről az adott napra leolvasott érték kerül, majd a 8. és 9. rovat adatából az $/51/-$ es egyenlettel kiszámítjuk a 10. oszlopba irandó értéket. A 2-es és a 10-es oszlop adatának szorzataként kapjuk a tényleges evapotranspirációt, amit a 11. oszlopba jegyzünk be, míg a 7-es és a 11-es különbségeként a 12. oszlop értékét nyerjük.

A 13. rovatba az adott növényfajra vonatkozó kritikus talajnedvességet írjuk mm-ben. Kritikus nedvességként általában az adott talajréteg diszponibilis vízkészletének 50 %-át tekintik, vagyis a 6. oszlopban megadott érték felét. Burgonyánál -- mint említettük -- a VK 70 %-át adják leggyakrabban az optimális talajnedvesség alsó határáként.

Vizsgálatainkhoz nem fogadtuk el egyiket sem kritikus értéként, mivel több éves kísérleti méréseink lehetővé tették számunkra is a kritikus talajnedvesség meghatározását a szarvasi kutatóállomás helyi sajátos viszonyaira. Elgondolásunkat a burgonyaállomány kritikus talajnedvességének $/w_{kr}/$ meghatározására a következőkben vázoljuk.

24. táblázat. A burgonyaállomány öntözési rendjének előrejelzése meteorológiai adatok alapján 1967. IV. 11. és IX. 5. között.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
dátum	BT _p	C	Gy	DV	DV	TV-HV	w	b	$\frac{w+b}{1+b}$	BT _a	/TV-HV/ -BT _a	w _{KT}	ö
1.	16,1	4,9	25		51	40,0	0,92	0,00	0,85	13,7	31,2	28	
2.	10,1	23,7	25		51	31,4	0,97	0,00	0,94	9,9	45,0	28	
3.	12,4	1,5	25		51	45,0	0,80	0,00	0,64	7,6	39,7	28	
4.	14,9	2,4	25		51	39,0	0,67	0,00	0,45	8,2	34,5	28	
5.	20,3	0	25		51	67,5	0,64	0,00	0,41	15,5	59,0	28	8,0
6.	29,1	0	40	33	84	59,0	0,70	0,05	0,53	12,3	65,7	46	7,0
7.	16,3	6,7	40		84	105,7	0,96	0,10	0,92	15,0	108,1	46	15,0
8.	13,0	14,7	60	40	124	108,1	0,97	0,17	0,95	12,3	131,6	67	
9.	20,9	44,4	60		124	182,6	1,00	0,20	1,00	20,9	172,9	67	
10.	17,0	7,3	85	51	173	172,9	1,00	0,34	1,00	17,8	177,9	94	
11.	17,8	21,9	85		173	207,9	1,00	0,42	1,00	17,0	207,9	94	
12.	11,0	11,9	100	30	203	207,9	0,96	0,53	0,94	11,5	191,8	110	
13.	19,7	2,4	100		203	191,8	0,87	0,64	0,80	18,4	168,5	110	
14.	29,8	1,2	100		203	168,5	0,75	0,80	0,65	23,4	146,5	110	15,0
15.	35,3	1,3	100		203	146,5	0,75	0,91	0,67	23,4	150,4	110	5,0
16.	29,3	8,5	100		203	150,4	0,73	0,98	0,67	19,6	144,3	110	16,0
17.	24,7	4,5	100		203	144,3	0,63	0,99	0,63	16,6	127,9	110	
18.	32,9	0	100		203	127,9	0,63	0,99	0,51	14,7	131,3	110	
19.	27,4	2,1	100		203	131,3	0,56	0,90	0,43	17,2	114,1	110	
20.	39,7	0	100		203	114,1	0,46	0,80	0,32	13,4	100,7	110	
21.	41,7	0	100		203	79,7	0,33	0,67	0,20	7,8	71,9	98	
22.	38,3	14,8	90	-21	182	71,9	0,40	0,55	0,25	7,1	79,6	98	
23.	29,3	3,1	90	-30	182	49,7	0,27	0,45	0,10	3,0	49,7	82	
24.	22,1	0	75	-30	152	49,7	0,23	0,30	0,05	3,0	46,7	82	
25.	30,3	0	75	-18	152	28,7	0,18	0,20	0,05	1,7	27,2	73	
26.	35,4	7,2	65	-18	134	27,2	0,22	0,11	0,06	1,7	32,7	73	
27.	26,4	0	65		134	32,7	0,19	0,03	0,04	1,2	31,5	73	
28.	31,4	0	65		134								
össz.	683,2	183,5								343,0			66,0
										mm			

Korábban bemutatott módszerünk szerint a tényleges evapotranspiráció a következő formulával számítható:

$$ET_a = \frac{w + b}{1 + b} w ET_p.$$

Ha a burgonya vizigényét az egész tenyészidőszak alatt kielégítjük, akkor a tényleges evapotranspiráció éppen egyenlő a növényállomány vízszükségletével, vagyis

$$ET_a = V_s.$$

A két egyenletből következik, hogy

$$V_s = \frac{w + b}{1 + b} w ET_p.$$

Az utóbbi egyenletet átrendezve kapjuk a

$$w^2 + wb = \frac{V_s}{ET_p} / 1 + b / \quad /54/$$

egyenlőséget. Minthogy az egyenletben szereplő b értéke bármely időpontra leolvasható a 14. ábráról, az ET_p pedig számítható a /19/-es, vagy /20/-as egyenlettel, míg a V_s a 13. ábra szaggatott 2-es görbéjéről minden napra leolvasható, így az /54/-es egyenletben csak a w ismeretlen. A fenti egyenlet másodfoku, egyismeretlenes egyenlet, s a w -re könnyen megoldható.

Az /54/-es egyenletet megoldottuk a burgonya virágzásának /a fejlődés kritikus időszaka/ időszakára, a 100 cm-es talajréteget véve számításba. Eredményként $w = 0,55$ -öt kaptunk. Korábbról ismeretes továbbá, hogy

$$w = \frac{TV - HV}{VK - HV}.$$

A szarvasi meteorológiai kutatóállomás talajának egy korábbi táblázatból -- ismerjük a szántóföldi vízkapacitását és holt-

viztartalmát, és keressük a $w = 0,55$ -höz, vagyis a kritikus értékhez tartozó tényleges vízkészletet. Az egyenletet most a TV-re kell megoldanunk:

$$TV_{kr} = w / VK - HV / + HV, \quad /55/$$

$$\text{vagyis } TV_{kr} = 0,55 / 378 - 175 / + 175 = 287 \text{ mm.}$$

Az optimális nedvességekészlet alsó határát kifejezhetjük a VK %-ában is, a DV %-ában is:

$$w_{kr} = \frac{TV}{VK} \cdot 100 = 76 \% , \quad /56/$$

$$w_{kr} = \frac{TV - HV}{DV} \cdot 100 = 55 \% . \quad /57/$$

A 24. táblázat 13. oszlopába -- a szokásos VK 70, ill. DV 50 % helyett -- az általunk számított $w_{kr} = DV 55$ %-os értékeket írtuk, mindig az adott rétegre.

Amikor a 24. táblázat 12-es rovatában lévő ténylegesen hasznosítható talajnedvességekészlet a 13. oszlopban feltüntetett kritikus érték alá csökken, öntözni kell, s ez a nap az öntözés időpontja. Az öntözővízszükségletet ugyanazon a napon a 6. és a 12. oszlop különbségeként ~~kapjuk~~, vagyis a diszponibilis és a ténylegesen felhasználható vízkészlet különbségeként kapjuk, csökkentve azt 20 - 30 mm-rel. Ez azért szükséges, mert öntözéskor a talaj feltöltése nem a vízkapacitásáig történik, hanem annak 95 - 96 %-ára, így az öntözés utáni esetleges csapadék számára is biztosítjuk a "helyet", csökkentve ezáltal az elszívárgás és a lefolyás lehetőségét.

A 24. táblázat sorában összegeztük a bemutatott módszerrel számított tényleges evapotranspirációt, vetéstől a betaka-

ritásig terjedő időszakra. Az WT_a - t vízháztartási módszerrel is meghatároztuk ugyanezen időszakra, s eredményként a következő értékeket kaptuk:

$$w_{ind} = 371,5 \text{ mm/l m} \quad /1967, \text{ IV. 11-én/}$$

$$w_{bef} = 275,8 \text{ mm/l m} \quad /1967, \text{ IX. 5-én/}$$

$$\Delta w = 95,7 \text{ mm/l m} \quad /1967, \text{ IV. 11-e és IX. 5-e között/}$$

$$C = 183,5 \text{ mm} \quad /1967, \text{ IV. 11-e és IX. 5-e között/}$$

$$\bar{O} = 66,0 \text{ mm} \quad /1967, \text{ IV. 11-e és IX. 5-e között/}$$

$$WT_a = C + \bar{O} + \Delta w = 183,5 + 66,0 + 95,3 = \underline{\underline{345,2 \text{ mm}}} \quad /1967, \text{ IV. 11 - IX. 5}$$

A két eltérő módszerrel kapott érték meglepően jól egyezik /343, ill. 345 mm/, ami a bemutatott számítási eljárás használhatóságát bizonyítja. Természetesen az egyetlen tényezőidőszakra történt igazolás alapján nem vonhatunk le messze menő következtetést. További ellenőrzések és igazolások szükségesek.

A 24. táblázat 12. és 13. rovatában lévő adatok alapján megállapítható, hogy a talaj hasznosítható vízkészlete burgonya számára a 21. pentádban /100,7 mm/ a kritikus érték alá /110 mm/ csökkent, tehát öntözni kellett volna, mintegy 60 - 70 mm-t. A táblázat szerint az öntözés időpontja július 26-a, az öntözővízszükséglet pedig 65 mm.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

2./ Az értekezésben új módszert mutattunk be a potenciális evapotranspiráció számítására. A /19/-es és a /20/-as formula lehetővé teszi a napi és a havi értékek kiszámítását a léghőmérséklet és a telítési hiány napi közepeinek alapján. A számítások megkönnyítésére táblázatot közlünk a $E - e^{0,7}$, ill. az $1 + \alpha t^{4,8}$ exponenciális kifejezések közvetlen leolvasására /8. és 9. táblázat/.

2./ Módszert dolgoztunk ki a klimatológiai vízszükséglet, vízhiány és vízfölség, ill. a területi öntözővízszükséglet idősorának előállítására az évi, a ^{tenyészidőszakbeli,} ~~havi~~, vagy akár a havonkénti összegek alapján. A tervezésekhez szükséges idősorok előállíthatók eljárásunkkal minden klímaállomásra, ahol rendelkezésünkre áll a léghőmérséklet és a telítési hiány kiszámításához szükséges adatsor, valamint a csapadék több évtizedes adatsora. A számításokat két jelentősen eltérő éghajlatu állomás meteorológiai ^(adatok) alapján végeztük el, nevezetesen Debrecenre és Szombathelyre, az 1901 - 1965 -ös időszakra. A 11. és 12. táblázat, továbbá a 3., 4., 5. és 6. ábra empirikus eloszlásfüggvényei alapján választ adhatunk azon kérdésekre, amelyek az öntözési tervezéseknél merülnek fel leginkább, vagyis arra, hogy kell-e az adott területen öntözni, ha igen, milyen gyakorisággal és mekkora vízmennyiséggel. Válaszolhatunk továbbá arra, hogy az öntözési szükséglet hogyan változik térben és időben. Ha a bemutatott módszerrel elegendő számú meteorológiai állomásra kiszámítjuk az említett tényezők értékeit, kijelölhetjük azokat az éghajlati körzeteket, amelyekben az öntözés szükségessége azonos, vagy hasonlóképpen

alakul mind a mennyiségi, mind a minőségi jellemzők tekintetében.

3./ Az öntözés táblánkénti és üzemegységenkénti megtervezéséhez fajonként és fajtánként kell ismerni a mezőgazdasági növénykultúrák vízszükségletét és öntözővízszükségletét, ezért a 2.3. fejezetben olyan eljárást ismertettünk, amely lehetővé teszi e jellemzők meghatározását is. Az eljárás gyakorlati alkalmazását kiskvárdai rózsaburgonyára mutattuk be a debreceni meteorológiai adatok felhasználásával. A 13. táblázatban közöltük a burgonya sokévi átlagos, maximális, minimális és 80 %-os biztonsággal bekövetkező vízszükségletét és öntözővízszükségletét az 1901 - 1965-ös időszakra, a vetéstől a betakarításig és havonkénti részletezésben. A 13. táblázat adataiból megállapítottuk, hogy nem célszerű minden évben ugyanazon öntözővíznorma szerint öntözni, mivel az esetek felében így a ténylegesen ^{vízszükségletnél} több, a másik felében pedig kevesebb jut a növényállomány számára.

4./ Értekezésünk második részében az öntözési gyakorlat igényeivel, az öntözővízszükséglet és az öntözési időpont előrejelzésének módszerével foglalkoztunk. Az öntözési előrejelzés modelljének megszerkesztéséhez bevezettük az optimális és az effektív evapotranspiráció fogalmát, s ezek birtokában a különböző növényállományok öntözővízszükségletének és öntözési időpontjának kiszámítását az adott mezőgazdasági növénykultúra optimális- és tényleges evapotranspirációjának meghatározására vezettük vissza /29. egyenlet/.

5./ Részletes vízháztartási elemzések után az effektív evapotranspiráció számítására a /31/-es egyenletet dolgoztuk ki. Az egyenlet lehetővé teszi az evapotranspirométer napi ada-

tainak kiszámítását.

6./ Uj elgondolást irtunk le az evapotranspirométerben tapasztalható talajnedvességkészlet naponkénti változásának meghatározására, valamint az evapotranspirometrikus adatokat /az effektív evapotranspirációt/ terhelő oázis-hatás megbecslésére. Burgonyaállományra részletesen is bemutattuk /18. tábl./ az 1964 - 1967-es időszak mért és redukált evapotranspirációjának havi értékeit, valamint az oázis-hatás százalékos értékét is.

7./ A szarvasi meteorológiai kutatóállomás 5 évi kísérleti mérései alapján táblázatban foglaltuk össze a lucerna, a kukorica, a cukorrépa, a burgonya, a zab, az őszi buza, az őszi árpa, a tavaszi árpa, a fű, a kender és a silókukorica evapotranspirométerrel mért effektív evapotranspirációjának havi és tenyészidőbeli összegeit /16. táblázat/. A közölt adatok további kutatások alapanyagaként szolgálhatnak, ill. alkalmasak az említett növények vízszükségletének kiszámítására.

8./ Részletesen elemeztük a növényfaj hatását az effektív evapotranspiráció alakulására, s megállapítottuk, hogy a faj, a fajta és a fejlődési fázis döntő szerepet játszik a vízszükséglet napi értékének változásában a tenyészidőszak folyamán /9. és 11. ábra/.

9./ A meteorológiai tényezők döntő hatását a vízszükséglet hatására úgy határoztuk meg, hogy azonos vizellátásban részesített azonos növényfajta vízszükségletének alakulását hasonlítottuk össze az eltérő meteorológiai viszonyokkal rendelkező években /12. és 10. ábra/. Megállapítottuk, hogy adott növényállomány vízszükségletének napi értéke minden

évben másként alakul, attól függően, hogy a párolgást meghatározó meteorológiai tényezők az évek során hogyan változnak. Az évenkénti eltérés számottevő, amit a meteorológiai viszonyokban tapasztalható nagyfokú változékonyságnak tulajdonítottunk. Ugyanis minden hatótényező azonos volt minden esztendőben a meteorológiai viszonyokat kivéve. Feltevésünket alátámasztották azon kutatási eredmények is, amelyek annak tisztázására irányultak, hogy milyen kapcsolat van az egyes fejlődési fázisokban a növényállomány vízszükséglete és a főbb meteorológiai elemek között /6. táblázat/.

10./ A /42/-es és a /43/-as formulával, valamint a 22. táblázatban közölt növénykonstansok dekádértékeinek ismeretében kiszámítható a kukorica, a burgonya, a cukorrépa, a lucerna, a zab és a legelő optimális evapotranspirációjának napi értéke. A /42/-es formulában lévő ET_p a /19/-es összefüggéssel határozható meg bármely napra, közvetlenül a léghőmérséklet és a levegő telítési hiánya alapján.

11./ A tényleges evapotranspiráció számítására az /50/-es formulát dolgoztuk ki, amelyben a potenciális evapotranspiráció, a talaj tényleges nedvességtartalmát jellemző w paraméter és a biológiai tényező b — ami nem más, mint a növényállomány relatív vizigénye — határozza meg a tényleges párolgás mértékét. A w kiszámításához az /52/-es formulát, a b meghatározásához pedig az /53/-as összefüggést adtuk meg.

12./ A b meghatározásához evapotranspirométeres mérések szükségesek /ld. ET_{optn} és ET_{optm} értékeit a 9., 10., 11., 12. ábrán/, amelyből ma még kevés van az országban, éppen ezért a 23. táblázatban közöltük a kukorica, a burgonya, a cukorrépa,

a lucerna és a zab vizigényének változását jellemző biológiai tényezők dekádértékeit vetéstől a betakarításig.

13./ A potenciális, az optimális és a tényleges evapotranspiráció számítására bemutatott módszerekkel példát mutattunk be a burgonya öntözővizszükségletének és öntözési időpontjának előrejelzésére. Az öntözési előrejelzések folyamatos készítéséhez naponként kell követni az öntözött növényállomány gyökérzónájának nedvességtartalék változását. A munka menetét a 24. táblázat 14. rovatában adtuk meg, amelyek napról-napra történő kitöltéséhez szükség van

- a léghőmérséklet napi közepére,
- a levegő telítési hiányának napi közepére,
- a csapadék napi összegére,
- a növénykonstans dekádértékeire /22. tábl./,
- a relatív vizigény dekádértékeire /23. tábl./,
- a kritikus talajnedvesség %-os értékére,
- a figyelembe veendő talajréteg vastagságára,
- a szántóföldi vízkapacitásra,
- a talaj holtviztartalmára,
- az induló talajnedvesség készletre.

14./ A kritikus talajnedvesség értékét a különböző kutatók igen tág határok között adják meg, éppen ezért összefüggést vezettünk le /54. egyenlet/ a w_{kr} értékének saját méréseink alapján történő meghatározására. A w_{kr} minden növényállományra kiszámítható, amelyeknek az evapotranspirométeres mérések alapján ismerjük a vizszükségletét és a relatív vizigényét. Példánkat ez esetben is burgonyára mutattuk be.

15./ Az /50/-es formulával kiszámítottuk a burgonya tényleges evapotranspirációját az 1967. évi tenyészidőszak minden pentádjára, s a kapott adatokat a tényleges vízháztartásmérések útján kapott értékekkel ellenőriztük. A két eltérő módszerrel meglepően jó egyezést kaptunk /343, ill. 345 mm/, ami a bemutatott modell használhatóságát bizonyítja. Termé-

szetesen az egyetlen tényésidőre történt igazolás alapján nem vontunk le semmilyen következtetést. További ellenőrzéseket és igazolásokat tartunk szükségesnek.

A bemutatott öntözési modellt a jövőben más növénykultúrákra is alkalmazzuk és üzemi viszonyok között ellenőrizzük. Ugy véljük, hogy további kutatások szükségesek annak megállapítására, hogy a bemutatott eljárás, ill. a kiszámított növénykonstans és biológiai tényező, ill. a talaj nedvességszűzletének a tényleges evapotranspirációra gyakorolt hatását figyelembe vevő w paraméternek -- amelyeket a szarvasi helyi viszonyokra határoztunk meg -- a kiterjesztése más éghajlati körzetre és talajfajtára lehetséges-e és ha igen milyen mértékben és hibával.

Ugyancsak további vizsgálatoknak kell eldönteniök, hogy az oázis-hatás okozta párolgásnövekedés milyen mértékű, mennyire függ a környezet talajnedvességének tartalmától, ill. hogy az időjárás alakulása milyen mértékben játszik közre.

Megoldásra vár az a kérdés is, hogy az evapotranspirométer növényzetének bizonyos mértékű kiemelkedése a környezetéből, jelent-e lényeges hatást az oázis-effektus mértékére, s ha igen, hogyan vehető az figyelembe, hogyan korrigálható objektív alapon az evapotranspirométerek adatsora.

Csakis ezen hibalehetőségek részletes elemzése és kellő mérlegelése adhat megnyugtató választ arra a legsürgősebb kérdésre, hogy az evapotranspirométer adatait, vagyis az effektív evapotranspirációt mily módon számíthatjuk át kielégítő pontossággal a 20 - 30 kh-nyi, optimálisan öntözött táblák növényállományának vízszükségleteként. Az e téren alkalmazott módszerek -- köztük az itt bemutatott korrekciós eljárás is -- ugyanis ma még számos, olykor egymásnak is ellentmondó

állításokat és feltételezéseket tartalmaznak, s következésképpen, az eredmények is nehezen értékelhetők egyértelműen.

Az öntözési előrejelzés folyamatos és rendszeres készítése viszont csakis akkor válhat gyümölcsözővé, ha idejében eljut a mezőgazdasági üzembe, a mezőgazdasági irányító szervekhez, ill. ha fel is használják azt az öntözés végrehajtása során.

5. K ö s z ö n e t n y i l v á n i t á s.

Befejezésül ehelyütt is megköszönöm az Öntözési és Rizstermesztési Kutató Intézet Igazgatóságának támogatását, amit a Szarvas - Bikazug-i meteorológiai kísérleti telep elindításánál és eddigi 5 éves működése során nyújtott, valamint mindazon munkatársainak, akik támogatásukkal, mezőgazdasági és öntözési szaktanácsaikkal elősegítették munkámat és hozzájárultak a kísérletek zavartalan folytatásához és sikeréhez.

Nem mulaszthatom el továbbá hálás köszönetem nyilvánítását a kutatóállomás létrehozatalában és folytonos fejlesztésében közreműködő Műszerszerkesztő Osztály munkatársainak.

Nem kevésbé tartozom köszönettel és hálával az észlelésekben, a mérésekben és az adatfeldolgozásokban, a kísérletek helyszíni ellenőrzésében, a kutatóállomás szervezésével kapcsolatban fellépő problémák megoldásában és a kutatási részfeladatok végrehajtásában résztvevő munkatársaimnak, akiknek odaadó és fáradságot nem ismerő áldozatos, lelkiismeretes munkája nélkül e nagy anyagot felölelő értékezés nem készülhetett volna el.

I r o d a l o m

- ALBINET, E., 1959.: Experiente cu regim de irigatie la cartof si porumb in incinta induguata Braila-Dunare-Sinat. Lucr. Sti., Inst. Agr. "Prof. I. Ionescu de la Brad" Iasi Bucuresti, p. 89 - 119.
- ALBRECHT, F., 1951.: Die Methoden zur Bestimmung der Verdunstung der Natürlichen Erdoberfläche. Arch. Meteor. Geoph. Biokl., B. 2. 1.
- ALPATYEV, A. M., 1954.: Vлагооборот културных растений. Гидрометиздат, Ленинград, p. 248.
- ANON., 1956.: Conclusions reached after discussions concerning evaporation. Proceedings of the informal meeting on physics in agriculture. Wageningen, The Netherlands 7 - 13. Sept., 1955. Netherlands Journal of agricult. Science, Vol. 4., No. 1., p. 95-97.
- ANTAL E., 1962.: Az evapotranspiráció meghatározása. Orsz. Met. Int. Beszámolók 1961-ben. OMI Hiv. Kiadv. XXV. kötet, 131 - 153. old.
- ANTAL E., 1963.: A Balaton párolgása. Időjárás, 67. évf. 5. sz., 290 - 297. old.
- ANTAL E., 1964.: Hidrometeorológiai kutatások az öntözéses gazdálkodás érdekében. A Magyar Meteorológiai Társaság Tájékoztatója, 2. sz. 17 - 23. old.
- ANTAL E., 1965.: Az öntözéssel kapcsolatos hő- és vízháztartásmérések célja és várható eredményei. Beszámolók 1964-ben. Orsz. Met. Int. Hiv. Kiadv. XXVIII. kötet, II. rész, 46 - 59. old.
- ANTAL E., 1965 a.: A kukorica- és a lucernaállomány maximális vízfogyasztásának mérése. Beszámolók 1964-ben. Orsz. Met. Int. Hiv. Kiadv. XXVIII. kötet, II. rész, 60 - 65. old.
- ANTAL E., 1965 b.: Öntözés és meteorológia. Időjárás, 69. évf., 4 - 5. sz., 248 - 257. old.
- ANTAL E., 1966.: Egyes mezőgazdasági növényállományok potenciális evapotranspirációja. Öntözéses Gazdálkodás, Vol. IV., No. 1. 69 - 86. old.
- ANTAL E., 1966 a.: Opredelenie racionalnoj gusztotü szeti dozsdemernü sztanciü. Simpozionul international precipitatile atmosferice. Bucuresti 8 - 13 iunie, 1964. C.S.A. Institutul Meteorologic, p. 87 - 95.

- ANTAL E., 1967.: Hozzászólás "A meteorológia szerepe az öntözés megalapozásában" c. előadáshoz. Agrártudományi Közlemények 26., 181 - 182. old.
- ANTAL E., 1968 a : Izmerenija i rasčoty po teplovomu i vodnomu balansu v svjazi s orošeniem v Vengrii. Sbornik Dokladov po Agrometeorologii. Izd. Bolgarskoj Akademii Nauk. p.93-103.
- ANTAL E., 1967 b.: Variations in the water requirement of potato during the growth season. Wiss. Zeitschrift der Karl Marx Univ. 17. Jahrgang, Kiadás alatt.
- ANTAL E., 1968.: Új módszer a potenciális evapotranspiráció számítására. Beszámolók 1967, Orsz. Met. Int. Hiv. Kiadv. Kiadás alatt.
- ANTAL E. - ERDŐS L., 1966.: Az öntözéses gazdálkodás agrometeorológiai kérdései. Az öntözéses gazdálkodás agrometeorológiai kérdései a Tiszántúlon, Magyar Meteorológiai Társaság XI. Vándorgyűlésén elhangzott előadások és hozzászólások. 27 - 35. old.
- ANTAL E. - POSZA I., 1967.: A kukoricaállomány evapotranspirációjának jellemzői. Beszámolók 1966. Orsz. Met. Int. Hiv. Kiadv. XXXVIII. kötet, 499 - 509. old.
- AVRIGEANU, G.H., 1960.: Regimul de irigație la cartof în zone de stepă uscătoare. Anal. Inst. de Cer. Agr., Ser. A. Agroclim., Pedol., Agrochem. și Amelioratii, Vol. XXVIII. p. 237 - 249. București.
- BACSO N., 1959.: Magyarország éghajlata. Akadémiai Kiadó, 302 old.
- BLANEY, H. F. and W.D. CRIDDLE, 1945.: A method of estimating water requirements in irrigated areas from climatological data. U.S. Dept. Agr. Soil. Conserv. Serv., p. 17.
- BLANEY, H.F. and W.D. CRIDDLE, 1950.: Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. U.S. Dept. Agric. Soil Conserv. Serv. SCS - TP 96, p. 48.
- BLANEY, H. F. and W.D. CRIDDLE /editor/, 1962.: U.S. Department of Agric.: Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirements, Agric. Res. Serv. Techn. Bull. No. 1275. p. 59.
- BOROS T., 1936.: Az öntözés szükségességének meteorológiai indokai hazánkban. Vízügyi Közlemények, XVIII. évf. 3. sz., 381 - 417. old.
- BROGMUS, W., 1959.: Zur Theorie der Verdunstung der natürlichen Erdoberfläche. Deutscher Wetterd. Seewetteramt, No. 21. Hamburg.
- BUDÚKO, N.I., 1955.: Ob opredelenii iszparenija sz poverhnosztiszi. Meteorologija i Gidrolologija, No. 1.

- BUDÜKO, M.I., 1956.: Teplovoj balansz zemnoj poverhnosztj. Gidrometizdat., Leningrad.
- BUDÜKO, M.I. - JÜGYIN, M.I. - JAKOVLEVA, N.I., 1954.: Iszparenije sz orosaemüh ucsasztkov i iszparjaemosztj v rajone Szalszkih sztepej. Trudü, GGI, vüp. 57 /111/.
- CARTER, D.B., 1954.: Climates of Africa and India according to Thornthwaite's 1948 classification. John Hopkins Univ., Laboratory of Climatology, Publ. in Climat., vol.7.No.4., p. 454 - 479.
- CARTER, D.B., 1956.: The water balance of the Mediterranean and Black Seas. John Hopkins Univ., Laboratory of Climatology, Publ. in Climat., vol. 9., no. 3., p. 125 - 174.
- CIHOVÁ, H., 1961.: Intenzita transpirace zavlazovanyh brambor. Védécké Práce Vyzkumného ustavu krmivárského csazv v pohorelicich. Praha, No. 5. p. 203-214.
- CRIDDLE, W.D., 1958.: Methods of computing consumptive use of water. Proc. Am. Soc. Civil Eng. Paper., J.Div. Irrig. and Drainage Div., vol.84.,no.191, p. 1 - 27.
- CSELÓTEI L., 1959.: A hőmérséklet hatása a zöldségnövények vízforgalmára. Növénytermesztés, 8. kötet /4/, 333 - 348 old.
- CSELÓTEI L., 1964.: A zöldségnövények vízhasznosítása. Agrár Tud. Egyetem Mezög. Tud. Kar. Közleményei, 203-225. o.
- DUBETZ, S. - G.C. RUSSEL - K.W. HILL, 1962.: Growing irrigated crops in Southern Alberta. Canada Depart. of Agr. Publ., 1152. April, p. 25.
- EIMERN van, J., 1964.: Zum Begriff und zur Messung der potentiellen Evapotranspiration. Met. Rundschau 17. Jahr, Heft 2.
- ERDŐS L., 1964.: A csupasz talaj párolgásának mérése liziméterrel. Időjárás, 68. évf. 4. sz., 201 - 210. old.
- ERDŐS L., 1967.: Main Sources of Error in the Measurement of Potential Evaporation. Időjárás, 71. évf. 1. sz., 10 - 22. old.
- GREEN, F.H.W., 1959.: Some observations of potential evaporation. Quart. Journ. Roy. Met. Soc. 85. 152.
- GREEN, F.H.W., 1960.: A technique for measuring potential evaporation and some of its applications. Water and Water engineering, Dec.
- HAJDU M., 1964.: A burgonyatermesztés egyes kérdései Hajdu-Bihar megyében. Disszertáció, Kézirat.
- GREEN, F.H.W., 1958.: Problems raised by the operation of, and the results from a small network of British evaporation measuring stations. Intern. Assoc. of Scient.

- Hydr. General Assembly of Toronto, 1957. Vol. 3. p. 444 - 451.
- HAJDU M., 1967.: A homoktalaj nedvességtartalmának hatása a Gülbaba burgonya-fajtára. Növénytermelés, Tom. 16. No. 2., jun., 109 - 122. old.
- HAUDE, W., 1952.: Verdunstungsmenge und Evaporationskraft eines Klimas. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone, Nr. 42., p. 225.
- HAUDE, W., 1954.: Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. Mitteilungen Dt. Wetterd., No. 8., Bad-Kissingen, p. 8/1 - 8/22.
- HAUDE, W., 1955.: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitteilungen des Dt. Wetterd.; Nr. 11., B. 2., Bad-Kissingen, p. 11/1 - 11/23.
- HYLCKAMA, T. E. A., van, 1956.: The water balance of the earth. John Hopkins Univ., Laboratory of Climatology, Public. in Climatology, vol. 9., no. 2. p. 57-115.
- ILJIN, V., 1963.: Vodnűj rezsim kartofelja. Kartofel i oviscsi. No. 6., p. 14 - 15.
- IVANOV, NN., 1941.: Zonű uvlazsnenija Zemnovo Sara. Izv. ANSZSZSZR, szer. geogr. i geofiz., No. 3.
- IVANOV, N. N., 1959.: Karta iszparjajemoszti v ravninnoj csaszti SZSZSZR. Ucsennűje Zapiszki L. G. U. No. 269. Klimatologija. Szer. geogr. nauk, vűp. 13.
- JAKOVLEVA, N. I., 1952.: Raszcsot iszparenija sz vodnoj poverhnoszti pri razlicsnűh uszlovijah. Trudű, GGO, vűp. 33 /95/.
- KAKAS J. /szerk./, 1960.: Magyarország Éghajlati Atlasza. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1 - 78 old.
- KAKAS J. - SZEPESINÉ LŐRINCZ A., 1963.: Éghajlatunk vízházartási kérdései. Idűjárás, 67. évf., 2. sz., 75 - 85. old.
- KAKAS J. /szerk./, 1967.: Magyarország Éghajlati Atlasza II. kötet, Adattár. Akadémiai Kiadó, 263 old.
- ^U
KALINA, K. I., 1960.: Szravnenije rezultatov nabludenij nad iszaparenijem sz pocsvű po trjom metodam. Met. i gidr. No. 7.
- KISSNÉ TÓTH E., 1965.: A meteorológiai elemek és a hűháztartás összetevűinek alakulása lucernaállomány felett. Beszámolók 1964., Orsz. Met. Int. Hiv. Kiadványai, XXVIII. kötet, II. rész, 66 - 72. old.
- KISSNÉ TÓTH E., 1966 a.: A hűháztartás komponenseinek alakulása a tenyészidűszakban. Idűjárás, 70. évf. 149-157. old.
- KISSNÉ TÓTH E., 1966 b.: Turbulens átviteli folyamatok a talajközeli légrétegben. Beszámolók 1965. Orsz. Met. Int. Hiv. Kiadványai, XXIX. kötet II. rész, 15 - 28. old.

- KONSZTANTYINOV, A. R., 1967.: Metodika ucsjota vlijanija biologicseszkih szvojsztv kulturü i pogodnüh uszlovij na rezsim orosenija. Akademiya Nauk SzSzSR., Naucsñüj Szovjet po Fiziologii i biologii rasztenij, Biologicseszkiye osznovü orosaemovo zemledelija. p. 411 - 419.
- KONSZTANTYINOV, A. R. i HARCSENKO, K. I., 1956.: Ocenka iszparjaemoszti v rajone Szalszkih sztepej. Trudü, GGI., vüp. 57. /111/.
- KONSZTANTYINOV, A. R., i OLEJNIK, R. N., 1964.: K vaproszü ob opredeljenii iszparjaemoszti /maximalno vozmoznovo iszparenija/ sz szelszkohezjajsztvennüh polej. Trudü Ukr. n. i. gidrom. in-ta, vüp. 41.
- KONSZTANTYINOV, A. R., és mások, 1966.: Teplovoj i vodnoj rezsim Ukrainü. Gidromet. Izd., Leningrad, 334. oldalon.
- LOWRY, R. L. and A.F. JOHNSON, 1942.: Consumptive use of water for agriculture. Trans. Am. Soc. Civil Engrs., vol. 107. p. 1243 - 1266.
- MAKKINK, G. F., 1962.: Vijf Jaren Lysimeteronderzoek. Versl. Landbouwk. Onderzoek, Wageningen, Nr. 68. 1.
- MONIN, A. Sz., OBUHOV, A. M., 1954.: Osznovnüe zakonomernoszti turbulentnovo peremesivania v prizemnom szloje atmoszferü. Trudü, Geofiz. Inszt. AN. SzSzSzSR. No. 24 /151/.
- OLIVIER, H., 1961.: Irrigation and Climate. London, p. 1 - 250.
- PEARL, R. T. /editor/, 1954.: The Calculation of Irrigation Need. London, H. M. Stationery Office Ministry of Agriculture and Fisheries, Technical Bulletin no. 4., p. 1 - 37.
- PENMAN, H. L., 1948.: Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc., ser. A., vol. 193. no. 1032. p. 120 - 145.
- PENMAN, H. L., 1952.: The water balance of catchment areas. Int. Un. Geod. and Geoph., Intern. Assoc. Sci. Hydrology. XIth, General Assembly, Toronto, vol. 3.
- PENMAN, H. L., 1956.: Evaporation: an introductory survey. Netherlands Journal of Agricultural Science. Vol. 4. No. 1., p. 9 - 29.
- PUSKÁS T. /szerk./, 1958.: Magyarország vízkészlete, III. Víz-tározási lehetőségek. VITUKI, Budapest.
- RIDER, N. E. and G. D. Robinson, 1951.: A study of the transfer of heat and water vapor above a surface of short grass. Quart. Journ. of the Roy. Met. Soc., Vol. 77.

- RUSSAM, K. and COLEMAN, J.D., 1961.: The effect of climatic factors on subgrade moisture conditions. *Geotechnique*, p. 22 - 28.
- SCHMIDT, W., 1925.: *Der Massenaustausch in frier Luft und verwandte Erscheinungen*. Hamburg.
- SINE, L., et J. CALAMBERT, 1958.: Calcul des bassins en eau d'irrigation. Centre Belge d'Etude et de Documentation des EAUX.
- SMITH, L. P., 1960.: The relation between weather and meadowhay yields in England. 1939 - 1956. *J. Brit. Grassl. Soc.* vol. 15., no.3. p. 203 - 208.
- SZEPESINÉ LŐRINCZ A., 1966.: A Kárpát-medence hidroklimájának jellemzői. Beszámoló 1965. *Orsz. Met. Int. Hiv. Kiadványai*, XXIX. kötet II. rész, 86 - 114. old.
- SZEPESINÉ LŐRINCZ A., 1966 a.: A vízmérleg és a talajnedvesség számított értékei. *Időjárás*, 70. évf. 149 - 157. old.
- SZESZTAY K., 1959.: Tavak és tározómedencék vízháztartási jelleggörbéi. *Földrajzi Értesítő.*, VII. évf. 2. sz.
- SZESZTAY K., 1964.: Magyarország öntözővizszükséglete és a Kárpát-medence vízháztartása. Beszámoló a VITUKI 1961. évi munkásságáról, 274 - 287. old.
- SZESZTAY K., 1966.: Az öntözési vízzükséglet meghatározásának néhány kérdése. *Hidrológiai Közlöny*, 9. sz., 385 - 395. old.
- STANHILL, G., 1965.: The concept of potential evapotranspiration in arid zone agriculture. *Methodology of Plant Eco - Physiology, Arid Zone Research*, XXV., UNESCO, p. 109 - 117. old.
- SUOMI, V. E., and G. B. TANNER, 1958.: Evapotranspiration estimates from heat-budget measurements over field crop. *Trans. Am. Geoph. Union*, Vol. 39., No. 2.
- SUTTON, G., 1949.: The application to micrometeorology of the theory of turbulent flow over rough surfaces. *Quart. Journ. Roy. Met. Soc.*, 75. p. 335.
- TAKÁCS L, und E. ANTAL, 1964.: Wasser-, und Wärmehaushaltsmessungen im Interesse der Bewässerung. *Wiss. Zeitschrift K. M. Univ. Leipzig*, 13. Jahrgang, Math. Naturwiss. Reihe, Heft 4., p. 789 - 791.
- TANNER, C. B. and PELTON, W. L., 1960.: Potential evapotranspiration estimates by the approximate energy balance method of Penman. *J. Geophys. Res.*, Vol. 65., no. 10, p. 3391 - 3413.
- THEISS E. /szerk./, 1958.: *Korreláció és trendszámítás. Közgazdasági és Jogi Kiadó, Budapest.*

- THORNTHWAITE, C. W., H. G. WIIM, stb., 1944.: Report of the committee on transpiration, 1943 - 44. Trans. Amer. Geophys. Un., part 5, p. 637.
- THORNTHWAITE, C. W., 1948.: An approach toward a rational classification of climate. Geographycal Review. Vol. XXXVIII., No. 1. p. 55 - 94.
- THORNTHWAITE, C. W., 1954.: A re-examination of the concept and measurement, of potential evapotranspiration. John Hopkins Univ. Lab. Climatology, Publications in Climatology, Vol. 7., no. 1. p. 200 - 209.
- THORNTHWAITE, C. W., and HOLZMAN, B., 1939.: The determination of evaporation from land and water surfaces. Monthly Weather Rev., vol. 67., no. 1., p. 4 - 11.
- THORNTHWAITE, C. W., and MATHER, J. R., 1951.: The role of evapotranspiration in climate. Arch. für Met. Geoph. Bioklim. B. 3., 16.
- THORNTHWAITE, C. W., and MATHER, J. R., 1955.: The water balance. Drex. Inst. Techn. Lab. Clim., Publ. in Clim., Vol. VIII., N. 1. p. 104.
- THORNTHWAITE, C. W., and MATHER, J. R., 1957.: Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Inst. of Technology, Publ. Climat. 10, No. 3.
- THORNTHWAITE, C. W., and MATHER, J. R., 1959.: Investigation of the climatic and hydrologic factors affecting the redistribution of strontium 90 in the soil. John Hopkins University, Laboratory of climatology, Publications in Climatology, vol. 12. no. 2. p. 53 - 91.
- TRUMMER A., 1935.: A magyar öntözések néhány vitás kérdése. Vizügyi közlemények, XVII. évf., 3. sz. 461-482. old.
- TURC, L., 1953.: Le bilan d'eau des sols: relations entre les précipitation et l'écoulement Paris, 1. vol. Ann. Agr., 1954, p. 491 - 595 et 1955. p. 5 - 131.
- TURC, L., 1961.: Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Ann. Agro n., 12 /1/ p. 13 - 49.
- VELEV, D. - G. MARKOV, 1961.: Opređeljane na vodopotreblenieto i napoitelno normi pri meliorativ note projektirene. B'lgarszka Akademija na Naukita, Szofia, p. 165.
- VÉGVÁRI REZSÓNÉ, 1966.: Az öntözési norma meghatározása. Hidrológiai Közöny, 12. sz. 567 - 573. old.
- VIZÜGYI ÉRTESÍTŐ, 1961.,: 9. sz.
- VIZÜGYI ÉRTESÍTŐ, 1964.,: 13. sz.
- W.M.O., 1966.: Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration Technical Note, No. 83.